

بررسی تاثیر محدود کننده جریان خطا SFCL در ریز شبکه شامل نیروگاه بادی و پیل سوختی

علی خندان^۱، محسن نیاستی^۲

چکیده:

گسترش و ارتقاء شبکه‌های توزیع، اتصال منابع تولید پراکنده به شبکه‌های توزیع و موازی کردن شبکه‌ها با یکدیگر به منظور افزایش قابلیت اطمینان سیستم، از جمله عوامل اصلی افزایش جریان اتصال کوتاه در شبکه‌های توزیع می‌باشند. بنابراین، محدودسازی جریان خطا امری ضروری در شبکه‌های توزیع در حال توسعه است. بکارگیری محدودکننده‌های جریان خطا یکی از روش‌های موثر برای کاهش دامنه جریان خطا می‌باشد. عملکرد این تجهیزات به پارامترهای محدودکننده جریان و موقعیت آن بستگی دارد. تغییر در موقعیت محدودکننده جریان می‌تواند سبب افزایش جریان اتصال کوتاه شود. این مقاله به بررسی تاثیر محدودکننده جریان در یک ریز شبکه شامل توربین بادی و پیل سوختی پرداخته است. همچنین مکان مناسب جهت نصب محدودکننده جریان خطا مورد مطالعه قرار گرفته است. نتایج شبیه سازی‌ها تاثیر استفاده از محدود کننده‌های ابرسانای جریان خطا و مکان نصب آنها در کاهش دامنه جریان خطا را بخوبی نشان می‌دهند.

تاریخ دریافت مقاله:

۱۳۹۲/۰۲/۱۶

تاریخ پذیرش مقاله:

۱۳۹۲/۰۵/۰۱

کلمات کلیدی:

شبکه توزیع هیبرید، محدود کننده ابرسانای جریان خطا، ریز شبکه، توربین بادی، پیل سوختی

مقدمه

از محدود کننده‌های جریان خطا (FCL) برای محدود کردن سطح جریان خطا در شبکه‌های قدرت استفاده می‌شود. محدود کننده‌های جریان خطا باید سرعت پاسخ دهی مناسبی داشته باشند تا بتوانند از آسیب رساندن جریان شدید اتصال کوتاه در طول زمان عمل کردن وسایل حفاظتی مانند مدارشکن‌ها جلوگیری کنند. یکی از انواع مختلف محدود کننده‌های جریان خطا، محدود کننده ابررسانای جریان خطا (SFCL) می‌باشد. این محدود کننده‌ها می‌توانند جریان خطا را در مدت کمتر از یک سیکل بعد از وقوع خطا محدود نمایند [۶] و علاوه بر محدودسازی جریان خطا و جلوگیری از تخریب تجهیزات، باعث بهبود پایداری حالت گذرای شبکه قدرت نیز می‌گردند [۱۲].

در کنار شبکه‌های گسترده انتقال و توزیع انرژی الکتریکی، ریزشبکه‌ها وجود دارند. ریزشبکه‌ها در واقع شبکه‌های کوچکی هستند که با در کنار هم قرار دادن تولیدکنندگان و مصرف کنندگان، تلفات و هزینه‌های انتقال را کاهش می‌دهند [۸، ۷]. این شبکه‌ها برای تامین انرژی از منابع تولید پراکنده استفاده می‌کنند و می‌توانند به شبکه بالادست متصل بوده یا از آن جدا باشند. اتصال ریزشبکه‌ها به شبکه بالادست خود مسائل جدیدی ایجاد کرده است و نیازمند وسایل حفاظتی - کنترلی مخصوص به خود می‌باشد [۴، ۱۰]. از این رو، استفاده از منابع تولید پراکنده در ریزشبکه‌ها نیاز به سیستم‌های حفاظتی و کنترلی را افزایش می‌دهد.

مقاله [۳] به بررسی تاثیر انواع اتصال کوتاه در افزایش جریان خطا در ریزشبکه پرداخته است. همچنین در مقاله [۵]، اهمیت قدرت اتصال کوتاه و امیدانس توالی صفر مورد بررسی قرار گرفته و در آن ذکر شده است که در شرایط عملکرد جزیره‌ای (ریزشبکه جدا از شبکه بالادست) به یک سیستم حفاظت برای عملکرد ایمن ریزشبکه نیاز می‌باشد. در این مقاله، تاثیر SFCLها در محدود کردن جریان خطا در یک ریزشبکه مورد بررسی قرار گرفته است.

عملکرد مناسب محدودکننده‌های جریان خطا به سرعت عملکرد و موقعیت آنها وابسته است. تغییر در موقعیت محدودکننده جریان در برخی مواقع می‌تواند باعث افزایش جریان حالت گذرای اتصال کوتاه شود. از این رو، پیدا کردن موقعیت مناسب برای نصب آن از اهمیت بالایی برخوردار است. مقالات [۱، ۲، ۱۳] به موضوع جایابی محدودکننده جریان در ریزشبکه‌های مختلف پرداخته‌اند و با مقایسه موقعیت‌های مختلف برای محدودکننده جریان، بهترین مکان نصب را تعیین کرده‌اند.

نویسندگان [۱] با در نظر گرفتن یک ریزشبکه در شبکه سراسری کره جنوبی، به بررسی تاثیر موقعیت محدودکننده جریان خطا پرداخته‌اند. شبکه مورد مطالعه در این مقاله ریزشبکه‌ای متشکل از نیروگاه بادی و مصرف کنندگان خانگی و صنعتی می‌باشد که به شبکه بالادست متصل شده است. نتایج این بررسی نشان می‌دهد که بهترین نقطه برای نصب محدود کننده جریان خطا، محل اتصال نیروگاه بادی به شبکه می‌باشد.

بررسی تاثیر موقعیت محدودکننده جریان خطا در کاهش جریان خطا در مقاله [۱۳] نیز انجام شده است. ریزشبکه مورد بررسی متشکل از سلول خورشیدی و بارهای خانگی و صنعتی بوده که به شبکه بالادست متصل می‌باشد. نتایج در اینجا نشان می‌دهد که محل اتصال سلول خورشیدی به ریزشبکه، مناسب‌ترین مکان برای نصب محدودکننده جریان خطا

اصول عملکرد محدود کننده جریان

محدود کننده‌های مقاومتی ابررسانا به دلیل عدم نیاز به هسته، ساختار ساده، پاسخ سریع و عدم نیاز به تحریک بیرونی، امروزه بیشتر مورد توجه قرار گرفته‌اند. در این محدود کننده‌ها از خاصیت گذر ماده ابررسانا به حالت نرمال استفاده می‌شود. گذار از وضعیت ابررسانایی به مقاومتی با سه عامل چگالی جریان، دما و میدان مغناطیسی امکان پذیر است. بر همین اساس، محدود کننده‌های مقاومتی از دو نوع دمایی یا معمولی و عبورشار^۱ یا سرد ساخته می‌شوند. در نوع معمولی با عبور جریان اتصال کوتاه از محدود کننده به دلیل افزایش مقدار دما از دمای بحرانی، گذار از حالت ابررسانایی به نرمال در عرض چند میلی ثانیه رخ می‌دهد. در نوع دوم یعنی عبور شار، از خاصیت افزایش چگالی جریان به جای گرما برای گذار از ابررسانایی به مقاومتی استفاده می‌شود [۹ و ۱۴]. در این مقاله، محدودکننده نوع دوم شبیه سازی شده است.

مدل سازی سیستم تحت مطالعه

برای مدل سازی شبکه تحت مطالعه، نیروگاه بادی و پیل سوختی از نرم افزار MATLAB استفاده شده است. همچنین محدود کننده‌های جریان خطا SFCL مطابق مدل ارائه شده در شکل (۲) مدل سازی شده است.

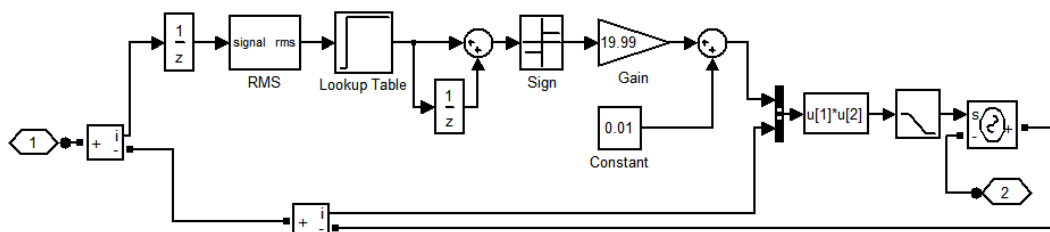
در این مدل، در حالت عادی، مقاومت SFCL دارای حداقل مقدار خود می‌باشد. اما هر وقت مقدار موثر جریان عبوری از SFCL از جریان آستانه عملکرد (مقدار تعیین شده) آن بیشتر شود، مقاومت SFCL سرعت به بیشترین مقدار خود پس از سپری شدن زمان گذرا (زمان پاسخ) می‌رسد تا جریان خطا را در سطح معینی محدود سازد. پس از رفع خطا و یا بازگشت سطح جریان مدار به یک مقدار معین، مقدار مقاومت SFCL به کمترین مقدار خود پس از سپری شدن زمان بازگشت برمی‌گردد.

مقادیر پارامترهای اصلی برای مدل سازی SFCL مذکور مطابق جدول (۱) می‌باشد.

جدول (۱) مقادیر پارامترهای SFCL شبیه سازی شده [۱۱]

مقدار	پارامتر
۲	زمان حالت گذرا یا زمان پاسخ (میلی ثانیه)
۰/۰۱	حداقل امپدانس (اهم)
۲۰	حداکثر امپدانس (اهم)
۲۰۰	جریان آستانه عملکرد (آمپر)
۱۰	زمان بازگشت (میلی ثانیه)

1) Flux flow



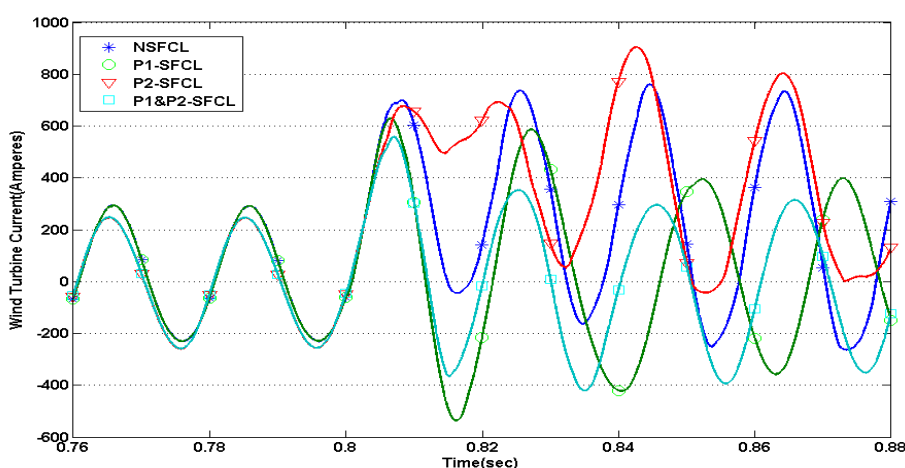
شکل ۲) مدل استفاده شده برای شبیه‌سازی محدود کننده جریان SFCL

شبیه سازی و بررسی نتایج

برای مطالعه این شبکه، تاثیر وقوع خطای اتصال کوتاه سه فاز به زمین یکبار در موقعیت ۱ (در سطح توزیع) و بار دیگر در موقعیت ۲ (سطح انتقال) مورد بررسی قرار گرفته است. برای محدود کردن جریان اتصال کوتاه نیز SFCL در موقعیت‌های ۱ یا ۲ یا در هر دو موقعیت به صورت همزمان قرار گرفته و نتایج هر حالت بررسی شد.

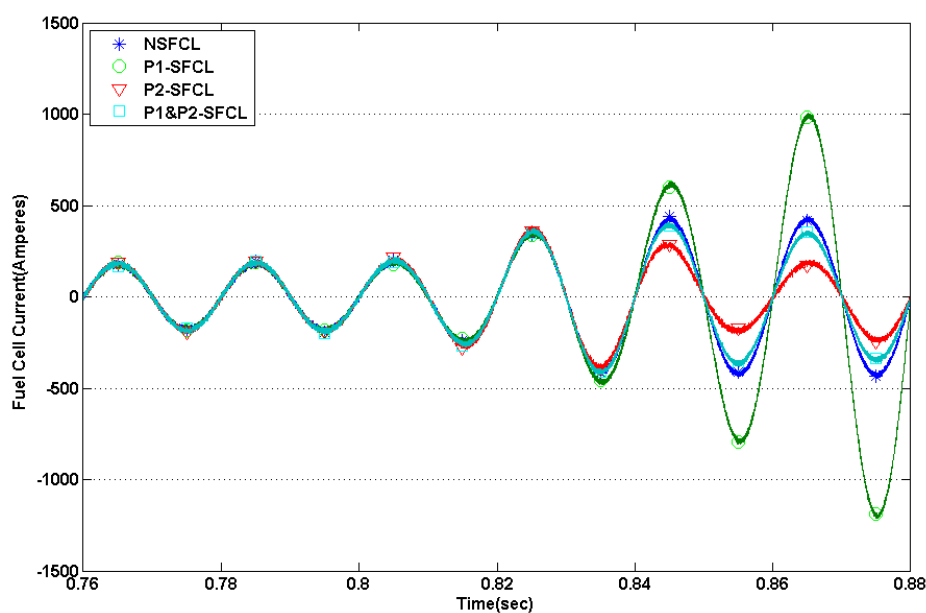
بررسی وقوع اتصال کوتاه سه فاز در موقعیت ۱ (سطح توزیع)

برای بررسی تاثیر محدود کننده‌های جریان خطا بر منابع تولید پراکنده، فرض شده است که اتصال کوتاه سه فاز پس از ۰/۸ ثانیه از شروع شبیه‌سازی رخ دهد و سیستم حفاظتی پس از گذشت ۴ سیکل (در زمان ۰/۸۸ ثانیه) خطا را از شبکه جدا خواهد کرد. منحنی جریان توربین بادی برای ۴ حالت مختلف (بدون SFCL، SFCL در موقعیت ۱، SFCL در موقعیت ۲، SFCL در موقعیت‌های ۱ و ۲ به طور همزمان)، در شکل (۳) آمده است.



شکل ۳) منحنی جریان توربین بادی هنگام وقوع خطا در موقعیت ۱

همانطور که در شکل (۳) مشاهده می‌گردد، کمترین افزایش جریان هنگامی رخ می‌دهد که دو محدود کننده جریان در موقعیت‌های ۱ و ۲ نصب شده باشند. همچنین وجود محدود کننده جریان در موقعیت ۱ سبب کاهش درصد افزایش جریان شده است در حالی که محدود کننده در موقعیت ۲ سبب افزایش درصد افزایش ولتاژ خواهد شد. این امر به این دلیل است که با وقوع اتصال کوتاه در موقعیت ۱ در صورتی که بتوان امپدانس دیده شده از طرف توربین بادی را افزایش داد، می‌توان با جریان کمتری ولتاژ مورد نیاز را در باس توربین بادی فراهم آورد. لذا با قرار دادن محدود کننده جریان در موقعیت ۱، جریان در لحظه اتصال کوتاه کاهش پیدا کرده است در حالی که اگر محدود کننده جریان در موقعیت ۲ باشد، امپدانس دیده شده از سمت ژنراتور سنکرون افزایش یافته و با سطح جریان پایین‌تری ولتاژ مورد انتظار برای ژنراتور سنکرون برآورده می‌شود. در نتیجه، کاهش جریان تولیدی از ژنراتور سنکرون باعث می‌شود توربین بادی این کاهش جریان را نیز جبران نماید تا ولتاژ مورد انتظار را در باس خود فراهم آورد. این امر سبب افزایش بیشتر جریان اتصال کوتاه شده است. اما شرایط در مورد جریان خروجی از پیل سوختی متفاوت می‌باشد. شکل (۴) جریان پیل سوختی را هنگامی که خطا در موقعیت ۱ رخ داده باشد، نشان می‌دهد.



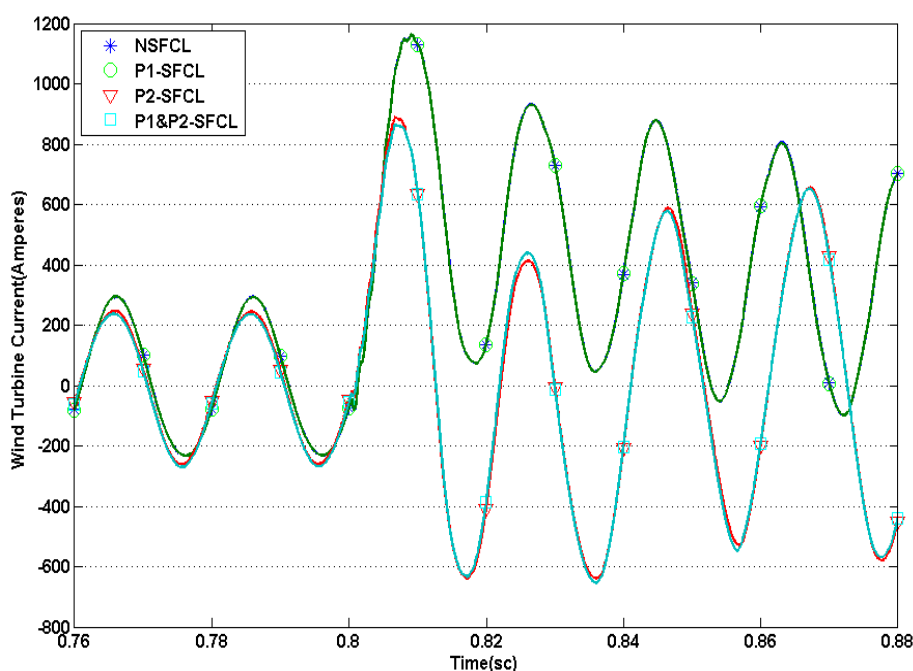
شکل ۴) منحنی جریان پیل سوختی هنگام وقوع خطا در موقعیت ۱

همانطور که شکل (۴) نشان می‌دهد، محدود کننده جریان در موقعیت ۲ سبب کمترین افزایش جریان در خروجی پیل سوختی می‌شود. این نتیجه عکس نتیجه حاصل شده از شکل (۳) و جریان توربین بادی می‌باشد. زیرا کنترل کننده بکار رفته برای کنترل پیل سوختی، تنها به کنترل توان خروجی و حفظ آن در مقدار از پیش تعیین شده می‌پردازد. لذا با

وجود اتصال کوتاه، امکان تامین توان برای پیل سوختی وجود نداشته است و به سمت ناپایداری پیش می‌رود. اما این ناپایداری تنها تا زمانی که اتصال کوتاه بر طرف شود، ادامه می‌یابد. بعد از برطرف شدن اتصال کوتاه، جریان و ولتاژ پیل سوختی پایدار می‌شود.

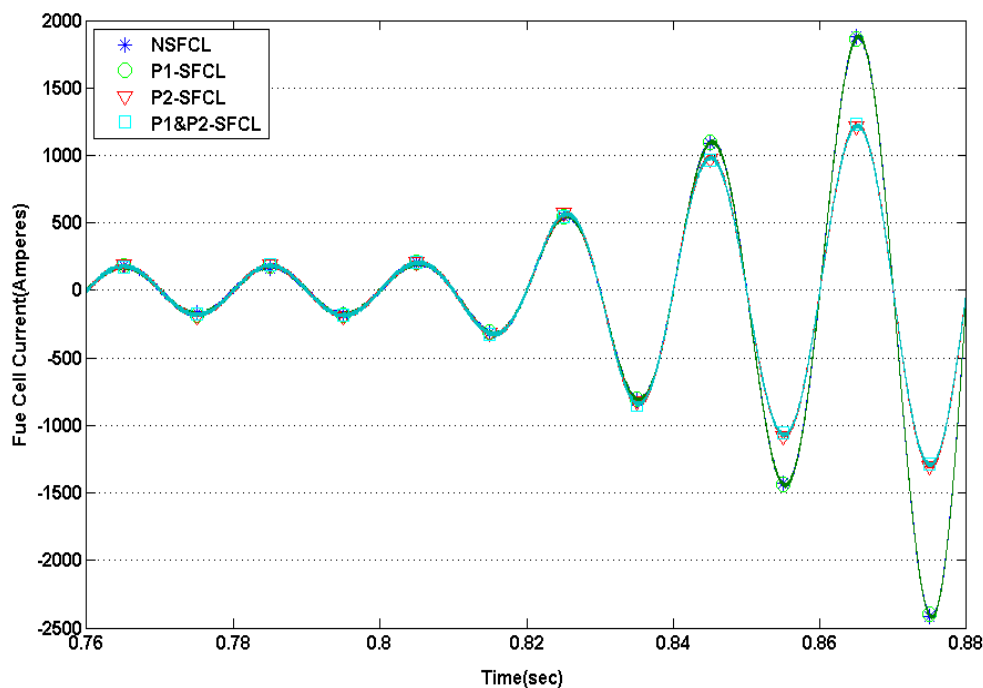
بررسی وقوع اتصال کوتاه سه فاز در موقعیت ۲ (سطح انتقال)

شکل (۵) منحنی جریان توربین بادی را هنگام بروز اتصال کوتاه سه فاز در موقعیت ۲ نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌گردد، هنگامی که محدود کننده جریان در موقعیت ۲ و یا در موقعیت‌های ۱ و ۲ به طور همزمان وجود داشته باشد، سطح جریان اتصال کوتاه کاهش می‌یابد. همچنین در صورت بروز اتصال کوتاه در موقعیت ۲، وجود SFCL در موقعیت ۱ تاثیر چندانی بر کاهش جریان خط ندارد.



شکل ۵) منحنی جریان توربین بادی هنگام وقوع خطا در موقعیت ۲

شکل (۶) منحنی جریان پیل سوختی را هنگام بروز اتصال کوتاه در موقعیت ۲ نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌گردد، در این حالت، وجود SFCL در موقعیت ۱ تاثیری بر کاهش دامنه جریان خطا نداشته است. در صورت بروز اتصال کوتاه سه فاز در موقعیت ۲، تنها SFCL نصب شده در موقعیت ۲ باعث کاهش جریان اتصال کوتاه خواهد شد که دلیل این امر، راهبرد کنترل پیل سوختی برای کنترل توان و ناپایداری پیل سوختی می‌باشد.



شکل ۶) منحنی جریان پیل سوختی هنگام وقوع خطا در موقعیت ۲

جدول شماره (۲) خلاصه نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌ها برای حالت‌های مختلف وقوع خطا و محل نصب SFCL را نشان می‌دهد.

جدول (۲) تاثیر نصب SFCL بر جریان خطا

جریان پیل سوختی		جریان توربین بادی		موقعیت نصب SFCL
خطا در موقعیت ۲	خطا در موقعیت ۱	خطا در موقعیت ۲	خطا در موقعیت ۱	
۲۶۳۳	۴۴۶	۱۱۶۴	۷۶۱	SFCL بدون
۲۶۳۹	۱۲۷۳	۱۱۶۳	۶۳۰	موقعیت ۱
۱۳۳۰	۴۰۴	۸۹۰	۹۰۵	موقعیت ۲
۱۳۲۶	۴۲۲	۸۶۵	۵۵۸	موقعیت‌های ۱ و ۲

جدول شماره (۳) درصد تغییر جریان خطا برای موقعیت‌های مختلف محدود کننده جریان را نسبت به جریان خطا هنگامی که محدود کننده‌ای وجود نداشته باشد، نشان می‌دهد.

جدول ۳) درصد تغییر جریان خط برای موقعیت‌های مختلف محدود کننده جریان

جریان پیل سوختی		جریان توربین بادی		موقعیت نصب SFCL
خطا در موقعیت ۲	خطا در موقعیت ۱	خطا در موقعیت ۲	خطا در موقعیت ۱	
۰٪	۱۸۵٪ افزایش	۰٪	۱۷٪ کاهش	موقعیت ۱
۵۰٪ کاهش	۱۰٪ کاهش	۲۴٪ کاهش	۱۹٪ افزایش	موقعیت ۲
۵۰٪ کاهش	۶٪ کاهش	۲۶٪ کاهش	۲۷٪ کاهش	موقعیت‌های ۲و۱

بررسی نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که بهترین حالت برای استفاده از محدود کننده‌ها بکارگیری همزمان در دو موقعیت ۲و۱ می‌باشد که سبب کاهش جریان اتصال کوتاه توزیع و انتقال خواهد شد. استفاده از SFCL در موقعیت ۲ نیز سبب کاهش جریان اتصال کوتاه پیل سوختی در هر دو مورد خطا شده است اما جریان توربین بادی را در اتصال کوتاه موقعیت ۱ افزایش می‌دهد. مقایسه اندازه افزایش اضافه جریان نشان می‌دهد که اتصال کوتاه در خطوط انتقال سبب افزایش بیشتری در اندازه جریان نسبت به اتصال کوتاه در سمت توزیع می‌شود. از این رو، گرچه استفاده از دو محدود کننده در اولویت قرار دارد، اما در صورتی که به دلیل مسایل اقتصادی تنها بتوان از یک محدود کننده استفاده نمود، این محدود کننده باید در موقعیت ۲ قرار گیرد.

همچنین ناپایداری پیل سوختی در حضور اتصال کوتاه سبب افزایش بیش از اندازه جریان خواهد شد. از این رو، برای محدود کردن جریان پیل سوختی می‌توان راهبرد کنترل آن را تغییر داد یا از کلیدهای قطع سریع برای جدا کردن پیل سوختی از شبکه استفاده نمود. همچنین استفاده از محدود کننده‌های جریان در سمت انتقال (موقعیت ۲)، سبب کاهش جریان اتصال کوتاه برای پیل سوختی شده و این جریان را تا حد قابل قبولی کاهش داده است.

نتیجه‌گیری

افزایش روزافزون منابع تولید پراکنده و اتصال آنها به شبکه‌های توزیع و انتقال باعث افزایش سطح اتصال کوتاه می‌شود. یکی از روش‌های کاهش جریان اتصال کوتاه، استفاده مناسب از محدود کننده‌های جریان خطا می‌باشد. در این مقاله برای یک ریزشبکه، تاثیر مکان نصب محدود کننده جریان خطا (SFCL) مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج شبیه‌سازی‌ها نشان داد که استفاده از دو محدود کننده جریان، بیشترین کاهش را در سطح اتصال کوتاه (در سمت شبکه توزیع و انتقال) دارد. همچنین نتایج نشان می‌دهد که اولویت نصب محدود کننده‌های جریان باید به گونه‌ای باشد که سطح جریان اتصال کوتاه در سمت انتقال را کاهش دهد، زیرا سطح اتصال کوتاه در شبکه انتقال بیشتر می‌باشد. همچنین نتایج شبیه‌سازی‌ها نشان می‌دهند که هرچند استفاده از محدود کننده‌های جریان خطا در کاهش اندازه جریان اتصال کوتاه توربین بادی موثر می‌باشد، اما برای کاهش جریان اتصال کوتاه در پیل سوختی مناسب نبوده و باید راهکارهای دیگری را نیز مد نظر قرار داد.

منابع

- [1] A. Khan U. Seong J. K. Lee S. H. Lim S. H. and Lee B. W. 2011. " Feasibility Analysis of the Positioning of Superconducting Fault Current Limiters for the Smart Grid Application Using Simulink and SimPowerSystem", IEEE Transactions On Applied Superconductivity, vol. 21, no. 3.
- [2] A. Khan U. Shin W.J. Seong J.K. Oh S.H. Lee S.H. Lee B.W. 2011. " Feasibility analysis of the application and positioning of DC HTS FCL in a DC microgrid through modeling and simulation using Simulink and SimPowerSystem", Physica C 471, 1322–1326.
- [3] Driesen J. Vermeyen P. and Belmans R. 2007. "Protection issues in microgrids with multiple distributed generation units," in Power Conversion Conf., Nagoya, pp. 646–653.
- [4] Eissa M.M. A. Ali .I. Abdel-Latif K.M. 2013. "Wi-Fi protected access for secure power network protection scheme", International Journal of Electrical Power & Energy Systems, Volume 46, pp. 414-424.
- [5] Friedl W. Fickert L. Schmutzger E. and Obkircher C. 2008. "Safety and reliability for smart-,micro-, and islanded grids," presented at the CIRED Seminar: SmartGrids for Distribution, Paper 107.
- [6] Jamasb T. Nuttall W.J. and Pollitt M.G. 2006. "Future Electricity Technologies and Systems", Cambridge Univ. Press, pp.83–97, 235–246.
- [7] Jiayi H. Chuanwen J. Rong X. 2008. "A review on distributed energy resources and MicroGrid", Renew Sustain Energy Rev, 12(9):2472–83.
- [8] Lasseter R et al. 2002. "Integration of distributed energy resources: the CERTS MicroGrid concept", Berkeley, CA.
- [9] Linmang W. Jiang P. and Wang D. 2012. "Summary of Superconducting Fault Current Limiter Technology." Frontiers in Computer Education. Springer Berlin Heidelberg, 819-825.
- [10] Loix T. Wijnhoven T. and Deconinck G. 2009. "Protection of Microgrids with a High Penetration of Inverter-Coupled Energy Sources", IEEE PES/CIGRE Symposium, Canada.
- [11] Maki K. Repo S. and Jarventausta P. 2004. "Effect of wind power based distributed generation on protection of distribution network," in IEEE Developments in Power System Protection, vol. 1, pp.327–330.
- [12] Sung B.C. Park D.K. Park J.W. and Ko T.K. 2009. "Study on a series resistive SFCL to improve power system transient stability: Modeling, simulation and experimental verification", IEEE Trans. Industrial Electron., vol. 56, no. 7, pp. 2412–2419.
- [13] Vijaya Kumar G. Prakash Kumar J. 2012. "Viable System Phenomena of SFCL and Protective Coordination for Smart Grid Applications", International Journal of Engineering Science & Advanced Technology, Vol-2, 1528 – 1533.
- [14] Yang X. Li X. Zhang Z. 2009. "The Research of Quench Characteristic and Resume Characteristic of The High Temperature Superconductivity Bi2223/Ag and YBCO under The Current Surge. Low Temperature and Superconductivity" 37(2), 25–31.