

جایابی محدودکننده جریان خطا برای کاهش هزینه حفاظت سیستم توزیع

محمودرضا حقی فام
Haghifam@modares.ac.ir
دانشگاه تربیت مدرس ایران

علی یزدیان
yazdian@modares.ac.ir
دانشگاه تربیت مدرس ایران

سید علی اکبر شهرياری
shahriari_sajad@yahoo.com
دانشگاه علمی کاربردی فیروزآباد

واژه‌های کلیدی: محدودکننده جریان خطا، منابع تولید پراکنده، هزینه سیستم حفاظت توزیع

چکیده

از جمله عوامل گرایش شرکت‌های تولیدی برق به سمت استفاده از منابع تولید پراکنده می‌باشند. منابع تولید پراکنده، منابع انرژی کوچکی هستند، که در کنار مراکز مصرف ساخته می‌شوند و شامل مزایای از جمله کاهش سرمایه گذاری در سیستم‌های تولید و انتقال، نصب سریع و ساده، بالابردن قابلیت اطمینان تولید برق و کاهش پیک مصرف می‌باشند [1]. این منابع تولید پراکنده در کنار مزیت‌هایشان ممکن است، تبعات منفی بر روی سیستم توزیع داشته باشند. یکی از این تبعات منفی، اثر منابع تولید پراکنده بر سیستم حفاظتی شبکه‌های توزیع می‌باشد [4].

بطور کلی مدار شکن‌ها، رله‌های حفاظتی، بازبست‌ها و فیوزهایی که برای یک سیستم توزیع بدون حضور منابع تولید پراکنده طراحی شده‌اند، در هنگام حضور منابع تولید پراکنده بدلیل تغییر سطح جریان اتصال کوتاه بدرستی عمل نخواهند کرد [5 و 6] و این موضوع باعث کاهش درجه ایمنی سیستم می‌شود. از طرف دیگر سیستم حفاظتی شامل اجزای زیادی

در حضور منابع تولید پراکنده سطح اتصال کوتاه در سیستم توزیع افزایش می‌یابد و این امر منجر به برهم خوردن هماهنگی حفاظتی موجود در سیستم، تغییر جهت جریان خطا و ایجاد جریان‌های خطای بالاتر از قدرت قطع کنندگی تجهیزات حفاظتی می‌شود. یکی از راه‌های پیشنهاد شده برای مقابله با این موضوع، استفاده از محدود کننده جریان خطا می‌باشد. در این مقاله محدود کننده جریان خطای حالت جامد برای این هدف پیشنهاد می‌شود و برای توجیه اقتصادی استفاده از محدودکننده جریان خطا، مکان‌یابی و اندازه‌گذاری محدودکننده جریان خطا در سیستم توزیع پیشنهاد می‌شود. نتایج عددی حاصل شده روی یک سیستم توزیع نمونه عملکرد الگوریتم پیشنهادی را نشان می‌دهد.

مقدمه

مقررات زدایی، تجدید ساختار، پیشرفت تکنولوژی، سیاست‌های زیست محیطی و افزایش تقاضا برای مصرف برق

بیست و چهارمین کنفرانس بین‌المللی برق

بنابراین پیاده‌سازی این روش مستلزم هزینه بالا و الگوریتم‌های حفاظتی پیچیده نمی‌باشد. محدود کننده جریان خطا المانی است، که بصورت سری در شبکه قرار می‌گیرد و جریان خطا را در سطح مورد نظر محدود می‌کند و در شرایط عادی عملکرد شبکه تلفات خیلی کمی را ایجاد می‌نماید. علاوه بر محدود کردن جریان خطا، محدودکننده جریان خطا مزایای دیگری نظیر بهبود پایداری سیستم و افزایش کیفیت توان را نیز به همراه دارد [16-19].

در مراجع [14 و 15] اثر محدود کننده جریان خطا بر کاهش جریان خطای حاصل شده از تولید پراکنده بررسی شده است. در مرجع [20] مطالعه‌ای بر اثر محدود کننده جریان خطا در کاهش اثر منابع تولید پراکنده بر هماهنگی فیوز-بازبست انجام گرفته است. در این مقاله برای توجیه اقتصادی استفاده از محدودکننده جریان خطای معرفی شده در مرجع [21]، مکان‌یابی و اندازه‌گذاری محدودکننده جریان خطا در سیستم توزیع در حضور منابع تولید پراکنده پیشنهاد می‌شود. تاکنون در مراجعی نظیر [22-24] از الگوریتم ژنتیک برای جایابی تجهیزات حفاظتی در سیستم توزیع استفاده شده است و درستی عملکرد این الگوریتم در این مراجع نشان داده شده است.

2- محدود کننده جریان خطا

FCL المانی است که بصورت سری در شبکه قرار می‌گیرد و جریان خطا را در سطح مورد نظر محدود می‌کند و در شرایط عادی عملکرد تلفات خیلی کمی را ایجاد می‌نماید. [5] ساختار کلی محدود کننده جریان خطای حالت جامد¹ پیشنهاد شده، در شکل (1) نشان داده شده است. همانگونه که دیده می‌شود، محدود کننده جریان خطا شامل سه شاخه موازی GTO^2 های پشت به پشت، سلف محدود کننده جریان و برقگیر می‌باشد. در طول شرایط نرمال GTO ها در حالت هدایت کامل می‌باشد و بنابراین دو سر راکتور محدود کننده جریان اتصال کوتاه بوده و امپدانس معادل محدود کننده تقریباً

است، که برای برطرف کردن خطا می‌بایستی بین آن‌ها هماهنگی برقرار باشد. هماهنگ‌سازی این اجزا در طول پروسه طراحی سیستم براساس محاسبات اتصال کوتاه انجام می‌گیرد. هنگام نصب منابع تولید پراکنده جریان خطا در سیستم افزایش می‌یابد، بنابراین پس از نصب منابع تولید پراکنده می‌بایستی بعضی از اجزای سیستم حفاظتی مجدداً تعویض و هماهنگ شوند.

تاکنون روش‌هایی برای مقابله با اثرات منابع تولید پراکنده بر سیستم حفاظت توزیع ارائه شده است. برخی از این روش‌ها مبتنی بر استفاده از سیستم حفاظت تطبیقی و میکروپروسسوری و تعویض مدارشکن‌ها و فیوزهای با قدرت پایین با مدارشکن‌ها و فیوزهای با قدرت بالا می‌باشند [7-9]. در مرجع [10] استفاده از حفاظت دیستانس برای مقابله با اثر تولید پراکنده بر سیستم حفاظت توزیع پیشنهاد می‌شود. اما همانگونه که مشخص است، این روش‌ها پیچیده و دارای هزینه پیاده‌سازی و اجرای زیاد می‌باشند.

اگر منابع تولید پراکنده سرعت و قبل از عملکرد تجهیزات حفاظتی از سیستم جدا شده و پس از یک تاخیر زمانی دوباره وارد مدار شوند، اثر منابع تولید پراکنده بر سیستم حفاظت حداقل می‌شود [11]. اما با قطع منابع تولید پراکنده از سیستم توزیع، مشکلاتی نظیر ناپایداری ولتاژ و فلیکر پدیدار می‌شوند. بنابراین این روش دارای مشکلات عمده‌ای می‌باشد و نیازمند مطالعات بیشتری است.

در صورتیکه جریان خطای ایجاد شده توسط منبع تولید پراکنده محدود شود، تغییرات ایجاد شده بر سیستم حفاظت توزیع حداقل می‌شود. یکی از روش‌های کاهش جریان منبع تولید پراکنده، کاهش اندازه منبع تولید پراکنده می‌باشد [12 و 13]. اما با پیاده‌سازی این روش امکان استفاده از تمام توان منبع تولید پراکنده مقدور نمی‌باشد. روش دیگر برای محدود کردن جریان خطای حاصل شده از منبع تولید پراکنده، استفاده از محدودکننده جریان خطا می‌باشد [14 و 15]. با اجرای این روش تعداد تجهیزات حفاظتی که پس از نصب منابع تولید پراکنده نیاز به تعویض دارند، حداقل می‌شود.

¹ - Solid State Fault Current Limiter

² - Gate Turn off Thyristor

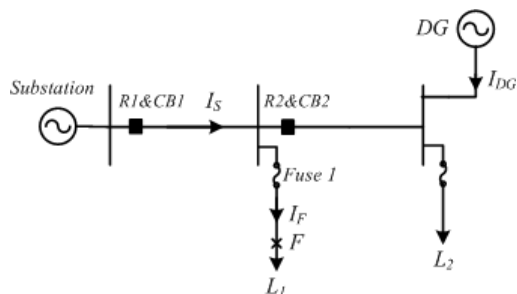
بیست و چهارمین کنفرانس بین‌المللی برق

توزیع، مطالعه‌ای روی اثر منابع تولید پراکنده در تریپ اشتباه تجهیزات حفاظتی بدلیل تغییر جهت جریان خطا، برهم خوردن هماهنگی حفاظتی فیوز-بازبست و وجود جریان خطای بالاتر از تجهیزات حفاظتی بدلیل افزایش جریان خطا انجام می‌شود.

3-1- تریپ اشتباه تجهیزات حفاظتی

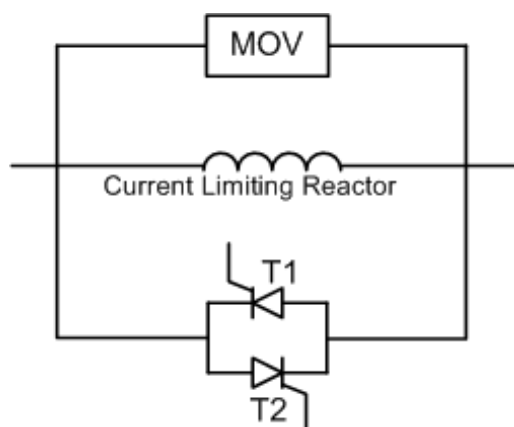
در حالت کلی در صورت وقوع خطا در هر فیدر، تجهیز حفاظتی موجود در آن فیدر می‌بایستی خطا را تشخیص داده و آن فیدر را از شبکه جدا نماید و بدین وسیله از قطع شدن برق در سایر قسمت‌های بدون عیب شبکه جلوگیری کند.

تریپ اشتباه ادوات حفاظتی نظیر رله‌ها یا فیوزها در اغلب موارد به دلیل تغییر جهت جریان خطا ناشی از حضور منابع تولید پراکنده در طول فیدر توزیع و تأمین جریان خطا بوسیله این منابع اتفاق می‌افتد. شکل (3) این وضعیت را به طور ساده نمایش می‌دهد. با توجه به شکل (3) اگر اتصال کوتاهی در نقطه F اتفاق افتد، می‌بایستی تنها فیوز 1 عمل کرده و شاخه جانبی آسیب دیده را از شبکه جدا نماید. اما پس از نصب منبع تولید پراکنده به سیستم در هنگام وقوع خطا، جریان خطای حاصل از تولید پراکنده از رله R2 نیز می‌گذرد. با توجه به اینکه هماهنگی بین رله R2 و فیوز 1 از قبل برقرار نمی‌باشد، این امکان وجود دارد که قبل از تریپ دادن فیوز 1، رله R2 خطا را تشخیص داده و مدارشکن CB2 بدون مشکل را از شبکه قطع نماید. با این عمل مدارشکن CB2، قسمتی از شبکه بدون دلیل قطع می‌شود یا در صورتی که منبع تولید پراکنده مجاز به ادامه تولید در حالت عملکرد جزیره‌ای باشد، آن قسمت شبکه بصورت جزیره‌ای باقی می‌ماند [6 و 12].

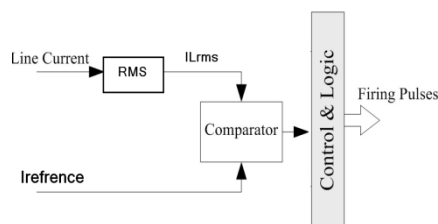


شکل 3: سیستم توزیع نمونه برای بررسی اثر منبع تولید پراکنده در تریپ اشتباه فیدر

برابر صفر می‌باشد. در صورتیکه در زمان وقوع خطا، جریان خطا از یک مقدار از پیش تعیین شده بیشتر باشد، مدار کنترلی فعال و GTOها خاموش می‌شوند. بلافاصله پس از خاموش شدن GTOها، مسیر عبور جریان از طریق شاخه‌ی سلف محدودکننده جریان بسته می‌شود و جریان خطا توسط سلف محدودکننده جریان خطا تا میزان مورد نظر کاهش می‌یابد. هنگامی که سیستم به شرایط عادی بازگشت، GTOها روشن شده و ولتاژ دو سرشان به صفر می‌رسد و دوباره مسیر جریان از طریق GTOها بسته می‌شود. از برگیر برای جلوگیری از صدمات حاصل از هر گونه اضافه ولتاژ ناشی از روشن و خاموش شدن لحظه‌ای GTOها استفاده می‌شود [21]. مدار کنترلی FCL حالت جامد در شکل (2) نشان داده شده است.



شکل 1: شماتیک FCL حالت جامد



شکل 2: مدار کنترلی FCL حالت جامد

3- نصب محدودکننده جریان خطا بصورت سری با منبع تولید پراکنده

در این قسمت برای نشان دادن توانایی محدود کننده جریان خطا در کاهش تاثیر منابع تولید پراکنده بر سیستم حفاظت

بیست و چهارمین کنفرانس بین‌المللی برق

3-3- هماهنگی فیوز - بازبست

برای بررسی اثر منبع تولید پراکنده بر هماهنگی حفاظتی فیوز-بازبست مطالعه‌ای روی شبکه نمونه نشان داده شده در شکل (5) انجام می‌شود. در صورت وجود برقراری هماهنگی حفاظتی بین فیوز و بازبست، به ازای وقوع خطا در شاخه جانبی 2، عملکرد سریع بازبست باید قبل از اینکه فیوز 1 در ناحیه شروع به ذوب قرار گیرد عمل نماید و خطا را برطرف کند. این شرط در صورتی ارضا می‌شود، که منحنی عملکرد سریع بازبست پائین‌تر از منحنی شروع ذوب فیوز 2 باشد. با توجه به مطالب بیان‌شده، در صورتیکه جریان خطای عبوری از بازبست و فیوز قبل از اتصال منبع تولید پراکنده بین I_{fmin} و I_{fmax} نشان داده شده در شکل (6) باشد، هماهنگی بین فیوز و بازبست برقرار خواهد بود. در شکل (6) جریان خطای گذرنده از فیوز 2 و بازبست در این حالت با $I_{Re\&Fu2}$ نشان داده شده است. با توجه به شکل (6) مشخص است، که این مقدار $I_{Re\&Fu2}$ بین I_{fmin} است و هماهنگی حفاظتی بین فیوز و بازبست برقرار می‌باشد.

پس از اتصال منبع تولید پراکنده به شبکه در صورتی که خطایی در نقطه F رخ دهد، منبع تولید پراکنده نیز در تولید جریان خطا مشارکت خواهد کرد و ممکن است باعث برهم خوردن هماهنگی حفاظتی شود. برای مثال در شکل (5) پس از نصب تولید پراکنده در صورت وقوع خطا در نقطه F تولید پراکنده نیز در تولید جریان اتصال کوتاه شرکت کرده و باعث افزایش جریان اتصال کوتاه می‌شود. با توجه به اینکه جریان خطای تولیدی توسط تولید پراکنده تنها از فیوز 2 می‌گذرد و بازبست این جریان عبوری را نمی‌بیند، جریان خطای عبوری از فیوز 2 و بازبست دیگر برابر نبوده و جریان خطای عبوری از فیوز بیشتر از بازبست خواهد بود. اگر این افزایش جریان کوچکتر از اندازه حاشیه مطمئنه (Dif) نشان داده شده در شکل (6) باشد، هماهنگی بین بازبست و فیوز برقرار می‌ماند. مقدار این حاشیه مطمئنه با توجه به رابطه (5) بدست می‌آید. برای مثال اگر جریان خطای عبوری از فیوز 2 پس از نصب منبع تولید پراکنده برابر I_{fnew}^* باشد، هماهنگی بین بازبست و فیوز 2 برقرار می‌ماند. اما اگر پس از اتصال منبع تولید پراکنده جریان خطای گذرنده از فیوز 2 برابر I_{fnew}

3-2- وجود جریان های اتصال کوتاه بالاتر از قدرت

قطع تجهیزات حفاظتی

مدار شکن‌ها و فیوزهای موجود در سیستم برای حالت عادی سیستم (حالت بدون تولید پراکنده) طراحی شده‌اند. پس از اتصال تولید پراکنده به شبکه این امکان وجود دارد، که افزایش جریان اتصال کوتاه در حدی باشد که مدار شکن‌ها و یا فیوزهای موجود در سیستم توانایی قطع جریان خطای عبوری را نداشته باشند. برای فهم بهتر بحث، اثر منبع تولید پراکنده بر مدار شکن CB2 نشان داده شده در شکل (4) توضیح داده می‌شود. در ابتدا فرض می‌شود، که منبع تولید پراکنده به شبکه متصل نباشد. در این حالت بهنگام وقوع خطا در نقطه F جریان I_F که با توجه به رابطه (1) برابر I_S است، از مدار شکن می‌گذرد.

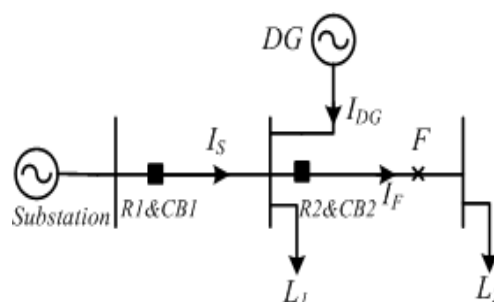
$$I_F = I_S = I_{CB2} \quad (1)$$

با فرض اتصال منبع تولید پراکنده به سیستم، خطایی در نقطه F اتفاق می‌افتد. در این حالت جریان I_F عبوری از مدار شکن با توجه به رابطه (2) برابر مجموع جریان خطای تولیدی توسط منبع تولید پراکنده و پست توزیع می‌باشد. همانگونه که مشخص است، جریان عبوری در این حالت بزرگتر از حالت قبل می‌باشد و این امکان وجود دارد که در این حالت مدار شکن توانایی قطع این جریان را نداشته باشد و بهنگام خطا نتواند عمل نماید [5].

$$I_F = I_S + I_{DG} \quad (2)$$

$$I_{CB2} = I_F \quad (3)$$

$$I_{CB2} \geq I_S \quad (4)$$



شکل 4: سیستم توزیع نمونه برای بررسی اثر منبع تولید پراکنده در ایجاد جریان های اتصال کوتاه بالاتر از قدرت قطع کلیدها.

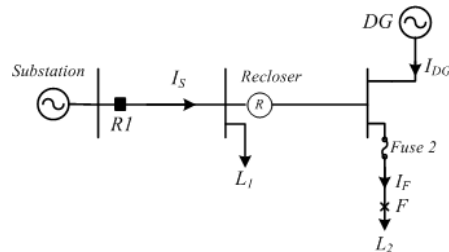
بیست و چهارمین کنفرانس بین‌المللی برق

4- شبیه‌سازی

برای نشان‌دادن توانایی محدودکننده جریان خطای پیشنهاد شده، شبیه‌سازی بر روی شبکه 13 باس توزیع نشان داده شده در شکل (7) بوسیله نرم‌افزار PSCAD/EMTDC انجام می‌گیرد. پارامترهای سیستم در جدول (1) و جدول (2) نشان داده شده است. برای نشان‌دادن توانایی محدودکننده جریان خطای پیشنهاد شده در کاهش اثرات منفی منبع تولید پراکنده بر سیستم حفاظت توزیع، دو منبع تولید پراکنده به شبکه متصل شده و اتصال کوتاه سه فاز در نقاط F1 و F2 انجام می‌گیرد. منابع تولید پراکنده نیز با ژنراتور سنکرون مدل شده‌اند. مشخصات این ژنراتورها نیز در جدول 3 نشان داده شده است.

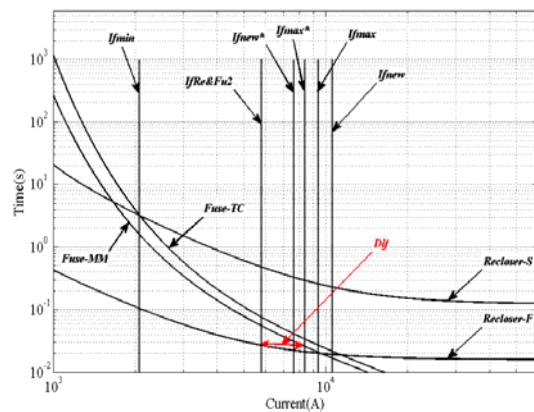
باشد، هماهنگی بین بازبست و فیوز 2 به هم می‌خورد و امکان دارد خطای موقتی به قطعی طولانی مدت منجر شود.

$$Dif = (Ifmax*) - (IRe\&Fu2) \tag{5}$$

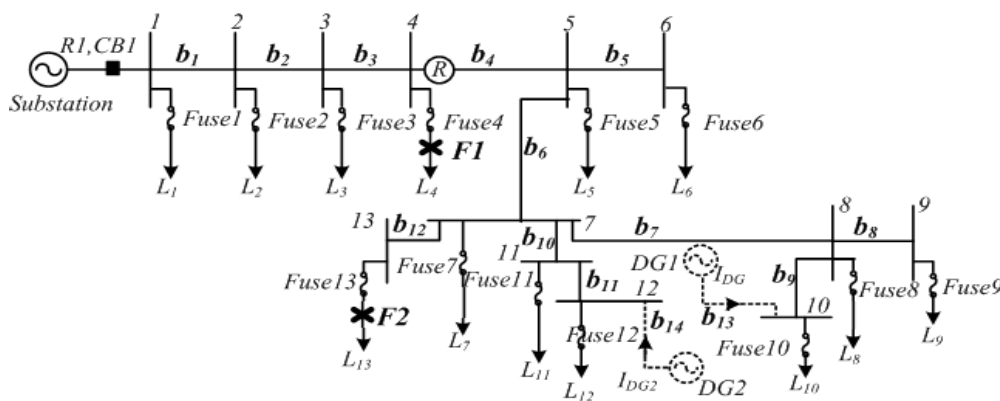


شکل 5: سیستم توزیع نمونه برای بررسی اثر منبع تولید پراکنده بر هماهنگی

فیوز-بازبست

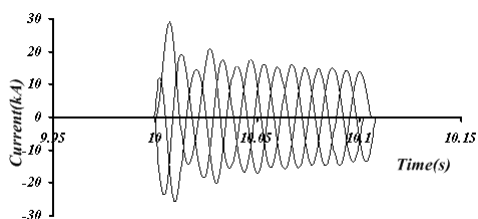


شکل 6: منحنی هماهنگی فیوز-بازبست برای بررسی اثر منبع تولید پراکنده بر هماهنگی آن‌ها.

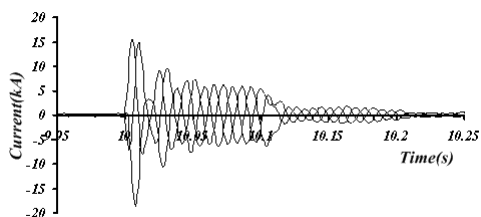


شکل 7: سیستم توزیع نمونه 13 باس.

بیست و چهارمین کنفرانس بین‌المللی برق

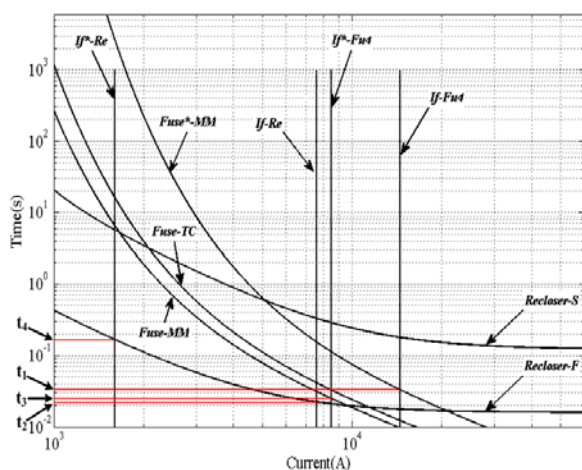


شکل 8: جریان خطای عبوری از فیوز 4 پس از اتصال تولید پراکنده



شکل 9: جریان خطای عبوری از بازبست پس از اتصال تولید پراکنده

با توجه به اینکه جریان خطای عبوری از فیوز بالاتر از قدرت قطع آن است، فیوز می‌بایستی با فیوز دیگری با قدرت قطع بالاتر جایگزین شود. در شکل (10) منحنی مشخصه فیوز جدید، بازبست و جریان‌های خطای گذرنده از فیوز و بازبست بترتیب با I_f-Re , I_f-Fu4 , $Recloser-F$, $Fuse^*-MM$ نشان داده شده است. همانگونه که مشخص است، بازای وقوع خطا در نقطه F1 بازبست با عملکرد سریع زودتر از فیوز عمل می‌نماید و باعث قطعی اشتباه برق می‌شود.



شکل 10: منحنی مشخصه فیوز و بازبست و جریان خطای عبوری از آنها برای بررسی اثر منبع تولید پراکنده بر تریپ اشتباه آنها.

جدول 1: پارامترهای سیستم توزیع نمونه 13 باس

From	To	R(ohm)	X(ohm)
1	2	0.176	0.138
2	3	0.176	0.138
3	4	0.045	0.035
4	5	0.089	0.069
5	6	0.045	0.035
5	7	0.116	0.091
7	8	0.073	0.073
8	9	0.074	0.058
8	10	0.093	0.093
7	11	0.063	0.05
11	12	0.068	0.053
7	13	0.062	0.053

جدول 2: مشخصات بارهای سیستم توزیع نمونه 13 باس

	Active(kW)	Reactive(kVAR)
L1	0	0
L2	890	468
L3	628	470
L4	112	764
L5	636	376
L6	474	344
L7	1342	1078
L8	920	292
L9	766	498
L10	662	480
L11	690	186
L12	1292	554
L13	1124	480

جدول 3: پارامترهای ژنراتور سنکرون

Parameter	Value
Rated Voltage / kv	20
Resistance (Ra) / pu	0.01
Synchronous Reactance (X _d) / pu	0.9
Transient Reactance (X' _d) / pu	0.04
Sub transient Reactance (X'' _d) / pu	0.03

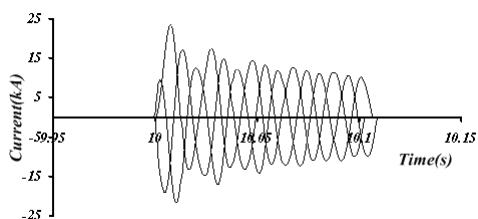
4-1- مطالعه توانایی محدود کننده جریان خطا بر

کاهش جریان خطا و تریپ اشتباه تجهیزات حفاظتی

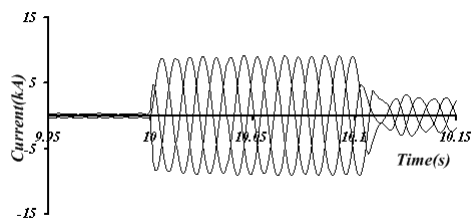
قبل از اتصال منابع تولید پراکنده در صورت وقوع خطا در نقطه F1 فیوز 4 خطا را تشخیص و آن را برطرف می‌نماید. در این حالت با توجه به یک سو تغذیه شدن شبکه، جریان خطای مشاهده شده توسط بازبست صفر است. پس از اتصال منابع تولید پراکنده، در هنگام وقوع خطا در نقطه F1، علاوه بر فیوز 4، بازبست نیز جریان خطا را مشاهده می‌کند. جریان خطای عبوری از فیوز 4 و بازبست در این حالت در شکل (8) و شکل (9) نشان داده شده است.

بیست و چهارمین کنفرانس بین‌المللی برق

می‌باشد و این موضوع می‌تواند منجر به برهم‌خوردن هماهنگی حفاظتی بازبست و فیوز 13 شود. برای بررسی این اثر تولید پراکنده خطایی در ثانیه 10 و بمدت 0/1 ثانیه در نقطه F2 ایجاد می‌شود. شکل موج جریان خطای گذرنده از فیوز 13 و بازبست بترتیب در شکل (13) و شکل (14) نشان داده شده است. در شکل (15) مقدار جریان خطای گذرنده از فیوز 13 و بازبست در این حالت با $If-Re$ و $If-Fu13$ نشان داده شده است. با توجه به زمان‌های عملکرد فیوز 13 و بازبست به ازای جریان خطای عبوری از آن‌ها که در شکل (15) بترتیب با $t1$ و $t2$ نشان داده شده است، کاملاً مشخص می‌باشد که فیوز 13 زودتر از بازبست در عملکرد سریع عمل نموده و ممکن است باعث تبدیل خطای گذرا به قطعی طولانی مدت شود.



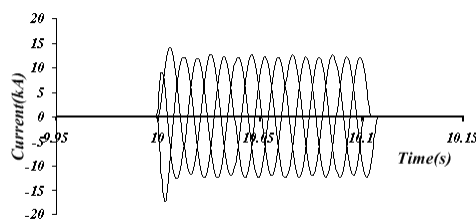
شکل 13: جریان خطای عبوری از فیوز 13 پس از اتصال تولید پراکنده



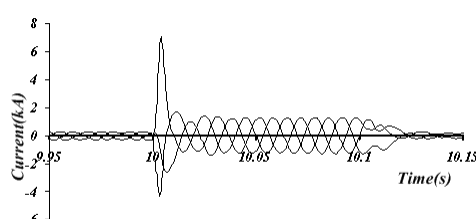
شکل 14: جریان خطای عبوری از بازبست پس از اتصال تولید پراکنده

برای جلوگیری از برهم‌خوردن هماهنگی حفاظتی موجود بین فیوز 13 و بازبست، محدودکننده جریان خطای حالت جامد در شاخه b12 نصب می‌شود. شکل (16) و شکل (17)، شکل موج جریان خطای گذرنده از فیوز 13 و بازبست را در این حالت نشان می‌دهد. این جریان‌های گذرنده از فیوز 13 و بازبست در شکل (15) با $If-Re$ و $If-Fu13$ نشان داده

برای جلوگیری از عملکرد اشتباه بازبست، محدودکننده جریان خطای حالت جامد در شاخه b6 نصب می‌شود. شکل موج جریان خطای گذرنده از فیوز 4 و بازبست پس از نصب محدودکننده جریان خطا در شکل (11) و شکل (12) نشان داده شده است. در شکل (10) جریان عبوری از فیوز 4 و بازبست در این حالت با $If*-Re$ و $If*-Fu4$ نشان داده شده است. با توجه به زمان‌های عملکرد فیوز 4 و بازبست که در شکل (10) با $t3$ و $t4$ نشان داده شده، فیوز 4 زودتر از بازبست عمل نموده و از بی‌برق‌شدن خط سالم جلوگیری می‌کند. ضمن اینکه در این حالت با بکاربردن محدودکننده جریان خطا، جریان اتصال کوتاه عبوری از فیوز 4 در محدوده توانایی عملکرد فیوز 4 قرار داشته و نیاز به تعویض فیوز 4 با فیوزی با قدرت قطع بالاتر نمی‌باشد.



شکل 11: جریان خطای عبوری از فیوز 4 پس از اتصال تولید پراکنده و محدودکننده جریان خطا

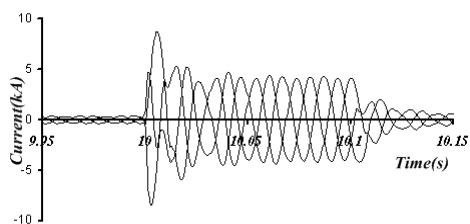


شکل 12: جریان خطای عبوری از بازبست پس از اتصال تولید پراکنده و محدودکننده جریان خطا

4-2- مطالعه توانایی محدودکننده جریان خطا بر برقراری مجدد هماهنگی حفاظتی فیوز-بازبست

همانگونه که بیان شد، در صورت وقوع خطا در نقطه F2 نشان داده شده در شکل (7)، برای جلوگیری از عملکرد فیوز 13 در قطعی‌های گذرا بازبست می‌بایستی زودتر از فیوز 13 قطعی را برطرف نماید. پس از اتصال منابع تولید پراکنده جریان خطای عبوری از فیوز 13 بیشتر از بازبست

بیست و چهارمین کنفرانس بین‌المللی برق



شکل 17: جریان خطای عبوری از فیوز 13 پس از اتصال تولید پراکنده و محدودکننده جریان خطا

5- تابع هدف و محدودیت‌ها

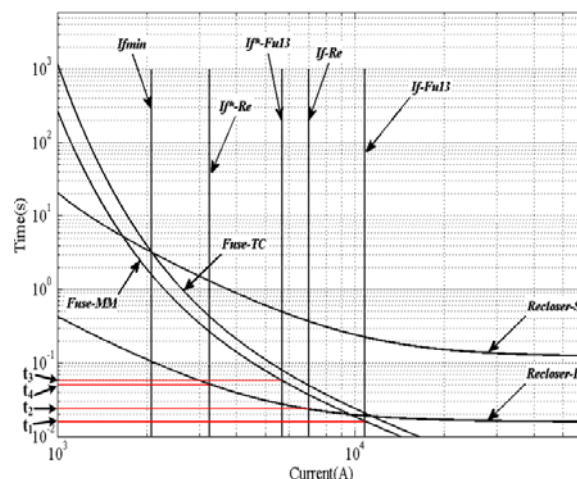
همانطور که بیان شد، هنگامی که منابع تولید پراکنده به سیستم متصل می‌شوند، باعث تغییر جهت جریان خطا و تریب اشتباه تجهیزات حفاظتی می‌شوند. همچنین با اضافه شدن این منابع تولید پراکنده سطح جریان خطا افزایش یافته و باعث ایجاد جریان‌های خطای بالاتر از قدرت قطع‌کنندگی تجهیزات و برهم‌خوردن هماهنگی حفاظتی بین فیوز و بازبست می‌شود. در ادامه نشان داده شد، که با اضافه شدن محدودکننده جریان خطا مشکلات منابع تولید پراکنده بر حفاظت سیستم توزیع حداقل می‌گردد.

در این قسمت تعداد، مکان و اندازه محدودکننده جریان خطا بگونه‌ای یافت می‌شود، که هزینه فیوزها، بازبست‌ها و جهت‌دار کردن تجهیزات حفاظتی حداقل شود. در این مکان‌یابی و اندازه‌گذاری قیمت محدودکننده جریان خطا نیز در تابع هدف در نظر گرفته می‌شود، تا هزینه سیستم حفاظت توزیع در حضور منابع تولید پراکنده حداقل شود.

با توجه به مطالب بیان شده تابع هزینه ای که برای مسئله مورد بحث در نظر گرفته می‌شود، شامل 4 جز می‌باشد. این اجزا بصورت زیر می‌باشند،

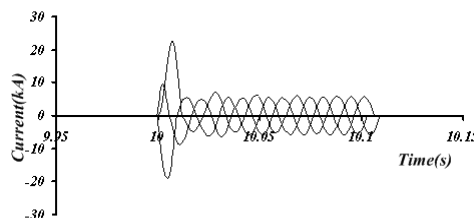
- 1- هزینه فیوزهایی که پس از نصب منابع تولید پراکنده می‌بایستی تعویض شوند.
- 2- هزینه بازبست‌هایی که پس از نصب منابع تولید پراکنده می‌بایستی تعویض شوند.
- 3- هزینه جهت‌دار کردن بازبست‌ها در حضور منابع تولید پراکنده
- 4- هزینه محدودکننده جریان خطا

شده‌اند. با توجه به زمان عملکرد فیوز 13 و بازبست (t3 و t4) مشخص است، که بازبست زودتر از فیوز 13 عمل می‌نماید و هماهنگی بین فیوز 13 و بازبست مجدداً برقرار می‌شود.



شکل 15: منحنی مشخصه فیوز و بازبست و جریان خطای عبوری از آنها برای بررسی اثر منبع تولید پراکنده بر هماهنگی فیوز-بازبست.

برای جلوگیری از برهم‌خوردن هماهنگی حفاظتی موجود بین فیوز 13 و بازبست، محدودکننده جریان خطای حالت جامد در شاخه b12 نصب می‌شود. شکل (16) و شکل (17)، شکل موج جریان خطای گذرنده از فیوز 13 و بازبست را در این حالت نشان می‌دهد. این جریان‌های گذرنده از فیوز 13 و بازبست در شکل (15) با I^*-Fu13 و I^*-Re نشان داده شده‌اند. با توجه به زمان عملکرد فیوز 13 و بازبست (t3 و t4) مشخص است، که بازبست زودتر از فیوز 13 عمل می‌نماید و هماهنگی بین فیوز 13 و بازبست مجدداً برقرار می‌شود.



شکل 16: جریان خطای عبوری از فیوز 13 پس از اتصال تولید پراکنده و محدودکننده جریان خطا

بیست و چهارمین کنفرانس بین‌المللی برق

6- نتایج عددی

برای نشان‌دادن تاثیر جایابی و اندازه‌گذاری محدودکننده جریان برای کاهش هزینه حفاظت سیستم توزیع، جایابی و اندازه‌گذاری محدودکننده جریان خطا در سیستم 13 باس نشان داده شده در شکل (7) انجام می‌گیرد. پارامترهای سیستم در جدول (1) و جدول (2) نشان داده شده است. برای اینکه منابع تولید پراکنده بیشترین تاثیر در افزایش جریان خطا را داشته باشند، در این مطالعه بصورت منابع ولتاژ ایده‌آل در نظر گرفته می‌شوند.

در ابتدا پس از اتصال منابع تولید پراکنده اتصال کوتاه سه فاز به تمام شاخه‌های جانبی سیستم اعمال می‌شود. محاسبات اتصال کوتاه نشان می‌دهد که تعدادی از فیوزها بدلیل عدم توانایی قطع جریان خطا و تعدادی نیز بدلیل برهم‌خوردن هماهنگی حفاظتی فیوز-بازبست می‌بایستی تعویض شوند و از طرفی دیگر بدلیل تغییر جهت جریان خطا می‌بایستی بازبست را جهت‌دار کرد. حال هدف این است، که با استفاده از جایابی و اندازه‌گذاری محدودکننده جریان خطای پیشنهاد شده هزینه تغییر و تعویض تجهیزات حفاظتی را حداقل کرد. جایابی و اندازه‌گذاری محدودکننده جریان خطا برای سه مورد مطالعه می‌شود. در مورد اول با توجه به هزینه‌های واقعی تجهیزات حفاظتی و محدودکننده جریان خطا [25-31] جایابی و اندازه‌گذاری محدودکننده انجام می‌شود. قبل از استفاده از محدودکننده جریان خطا مقدار تابع هزینه برابر 17700 دلار می‌باشد. نتایج حاصل شده پس از اجرای الگوریتم ژنتیک در جدول (4) آورده شده است.

جدول 4: مقادیر تابع هزینه با توجه به تعداد، اندازه و مکان نصب محدودکننده

جریان خطا

Number	[branch , L(mH)]	Cost(US\$)
2	[10 , 12] [6 , 9]	6323.75
2	[9 , 14] [6 , 8]	6324.88
2	[13 , 12] [4 , 10]	6324.88
2	[7 , 12] [4 , 10]	6324.88
2	[9 , 16] [4 , 8]	6327.14
2	[11 , 8] [6 , 16]	6327.14
2	[14 , 16] [13 , 21]	6341.85

با در نظر گرفتن اجزا بیان شده تابع هزینه بصورت رابطه (6) حاصل می‌شود:

$$CF = N_{fuse} \times C_{fuse} + N_R \times C_R + C_{Di} + N_{FCL} \times C_{FCL} + C_P \quad (US\$) \quad (6)$$

$$C_P = \sum_{i=1}^{n_{bus}} P_i \quad (7)$$

که در این روابط،

C_F : مقدار تابع هدف؛

N_{Fuse} : تعداد فیوزهایی که پس از نصب منابع تولید پراکنده می‌بایستی تعویض شوند؛

C_{Fuse} : قیمت فیوز؛

N_R : تعداد بازبست‌هایی که پس از نصب منابع تولید پراکنده می‌بایستی تعویض شوند؛

C_R : قیمت بازبست؛

N_{FCL} : تعداد محدودکننده‌های جریان خطای مورد استفاده؛

C_{FCL} : قیمت محدودکننده جریان خطا؛

C_{Di} : هزینه جهت‌دار کردن بازبست؛

C_P : هزینه جریمه می‌باشد، که بصورت رابطه (7) محاسبه می‌شود. در این رابطه $i = 1, 2, \dots, n$ بمعنای وقوع خطا در باس‌های 1 تا n می‌باشد. هنگامی که جریان خطای عبوری از هر یک از این باس‌ها بیشتر از حداقل جریان قطع فیوز باشد، $P_i=0$ در غیر این صورت $P_i=100000$ در نظر گرفته می‌شود.

برای بهینه کردن تابع هزینه مطرح شده از الگوریتم ژنتیک استفاده می‌شود. در الگوریتم ژنتیک جستجو برپایه مکانیزم ژنتیک طبیعی بنا شده است. هدف الگوریتم بهینه‌کردن یک تابع بنام تابع برازندگی است، که توسط کاربر تعریف می‌شود. روند اجرای پروسه جستجو به این ترتیب است، که ابتدا جمعیتی از کاندیدهای احتمالی مناسب (موسوم به جمعیت اولیه) از تمام فضای جستجو گرد هم می‌آیند. در هر تکرار که یک نسل نامیده می‌شود، جمعیت جدید تولید می‌شود که عمدتاً شامل اعضای است که با تابع برازندگی و هدف مسئله قابلیت تطبیق بهتری دارند. هنگامی که الگوریتم چندین نسل را پشت‌سر می‌گذارد عمدتاً اعضا به سمت نقطه بهینه تابع برازندگی میل می‌کنند [23 و 24].

بیست و چهارمین کنفرانس بین‌المللی برق

7- نتیجه‌گیری

اتصال منابع تولید پراکنده باعث وقوع مشکلاتی نظیر تریپ اشتباه تجهیزات حفاظتی، وجود جریان خطای بالاتر از قدرت قطع تجهیزات حفاظتی و برهم‌خوردن هماهنگی حفاظتی فیوز-بازبست می‌شود. در این مقاله برای توجیه اقتصادی استفاده از محدودکننده جریان خطای پیشنهادی در کاهش مشکلات بیان شده، جایابی و اندازه‌گذاری محدودکننده جریان خطا توسط الگوریتم ژنتیک پیشنهاد گردید. نتایج عددی حاصل شده در این مطالعه تاثیر جایابی و اندازه‌گذاری محدودکننده جریان خطا در کاهش هزینه حفاظت سیستم توزیع در حضور منابع تولید را بخوبی نشان داد.

8- مراجع

- [1] M.H.Nehrir, C.Wang and S.R.shaw, "Fuel cells: promising devices for distributed generation," Power and energy magazine, IEEE, Jun.-Feb. 2006.
- [2] H.B.Puttgen, P.R.Macgregor and F.C.lambert, "Distributed generation: semantic hype or the dawn of a new era?," Power and energy magazine, IEEE, Jan.-Feb. 2003.
- [3] R. Ramakumar and P. Chiradeja, "Distributed generation and renewable energy systems," 37th Intersociety Energy Conversion Engineering Conference (IECEC), 2002.
- [4] T.Ackermann and V.Knyazkin, "Interaction between distributed generation and the distribution network: operation aspects," IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exhibition Asia Pacific, 2002.
- [5] M. T. Doyle, "Reviewing the impacts of distributed generation on distribution system protection," Power Engineering Society Summer Meeting, Vol. 1, pp. 103-105, 2002.
- [6] K. Kauhaniemi and L. Kumpulainen, "Impact of distributed generation on the protection of distribution networks," 8th IEE International Conference on Developments in Power System Protection, Vol. 1, pp. 315-318, 5-8 Apr. 2004.
- [7] S. M. Brahma and A. A. Girgis, "Development of adaptive protection scheme for distribution systems with high penetration of distributed generation," IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 19, No. 1, pp. 56-63, Jan. 2004.
- [8] T. M. de Brito, et al., " Distributed generation impacts on the coordination of protection systems

با توجه به نتایج نشان داده شده، انتخاب دو محدودکننده جریان خطا در شاخه‌های 6 و 10، 6 و 9، 4 و 13، 4 و 7، 4 و 9، 6 و 11 و یا 13 و 14 بهترین انتخاب می‌باشد.

در مطالعه بعدی تمامی هزینه‌ها شبیه مطالعه اول می‌باشد و هدف جایابی و اندازه‌گذاری تنها یک محدودکننده جریان خطا است. در این حالت قبل از نصب محدودکننده جریان خطا مقدار تابع هزینه برابر 17700 دلار می‌باشد. نتایج حاصل شده پس از اجرای الگوریتم ژنتیک در جدول (5) آورده شده است.

جدول 5: مقادیر تابع هزینه با توجه به تعداد، اندازه و مکان نصب محدودکننده

جریان خطا

Number	[branch , L(mH)]	Cost(US\$)
1	[6 , 6]	8056.79
1	[6 , 41]	8096.37
1	[4 , 51]	8807.68
1	[4 , 75]	8834.82
1	[10 , 53]	16009.94

با توجه به نتایج نشان داده شده در جدول (5)، انتخاب یک محدودکننده جریان خطا در شاخه 6 و به اندازه 6 میلی هانری بهترین انتخاب است. در مطالعه سوم تمامی مقادیر شبیه مطالعه اول می‌باشد و تنها قیمت تجهیزات حفاظتی 60 درصد قیمت واقعی آنها در مطالعه اول دز نظر گرفته می‌شود. در این حالت قبل از نصب محدودکننده جریان خطا مقدار تابع هزینه برابر 10620 دلار می‌باشد. نتایج حاصل شده پس از اجرای الگوریتم ژنتیک در جدول (6) آورده شده است.

جدول 6: مقادیر تابع هزینه با توجه به تعداد، اندازه و مکان نصب محدودکننده

جریان خطا

Number	[branch , L(mH)]	Cost(US\$)
1	[6 , 6]	6096.79
1	[6 , 41]	6136.37
2	[6 , 9] [13 , 12]	6323.75
2	[6 , 8] [10 , 13]	6323.75
2	[14 , 16] [13 , 21]	6341.85

با توجه به نتایج نشان داده شده در جدول (6)، انتخاب یک محدودکننده جریان خطا در شاخه 6 و به اندازه 6 میلی هانری بهترین انتخاب است.

بیست و چهارمین کنفرانس بین‌المللی برق

- [18] M. Ahmed, G. Putrus and L. Ran, "Power quality improvement using a solid-state fault current limiter," IEEE/PES Trans. and Dist. Conf. and Exhibition: Asia Pacific; Vol. 2; pp. 1059–1064; 6-10 Oct. 2002.
- [19] M. Tsuda, et al., "Application of resistor based superconducting fault current limiter to enhancement of power system transient stability", IEEE Transactions on Applied Superconductivity, Vol. 11, No. 1, Part 2, pp. 2122 – 2125, Mar. 2001.
- [20] سید علی اکبر شهریار، علی یزدیان، "کاهش اثر تولید پراکنده بر هماهنگی فیوز-بازبست بوسیله محدودکننده جریان خطا"، سومین کنفرانس حفاظت و کنترل سیستم های قدرت (PSPC)، 18-20 دیماه، 1387. تهران.
- [21] T.Ueda, "Solid-state current limiter for power distribution system", IEEE Transaction on power Delivery, Vol. 8, No. 4, pp.1796-1801, Oct. 1993.
- [22] A. Pregelj, M. Begovic and A. Rohatgi, "Recloser allocation for improved reliability of DG-enhanced distribution networks," IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 21, Issue.3, pp.1442-1449, Aug. 2006.
- [23] M. Ramezani, H. Falaghi, M. Parsa, M. R. Haghifam, "Distribution substation allocation using genetic algorithm," IEEE general meeting, Canada, 2006.
- [24] H. Falaghi, M. R. Haghifam, M. Ramazani, "Reliability enhancement in electric distribution networks using optimal allocation of switching devices," Amirkabir Journal of Science & Technology, Vol.15, No.58, pp. 338-348, 2004.
- [25] Yueqing City Yiyuan Power Electronics Company, (www.fivefine.com).
- [26] Yueqing Aoda Electric & Electronic Factory, (<http://www.made-in-china.com/showroom/topist>).
- [27] Chinazenli Rectifier, (<http://www.chinazenli.com>).
- [28] ANDELI Group Company, (<http://www.andeligroup.com>).
- [29] Quality Power Electrical Equipments Pvt. Ltd, (www.qualitypower.co.in).
- [30] شرکت تجهیزات برق پارس، (<http://www.parsete.com>).
- [31] Payesh Niroo, (www.profuse.ir)
- in distribution networks," IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exposition: Latin America, pp. 623 – 628, 8-11 Nov. 2004.
- [9] S. M. Brahma and A. A. Girgis, "Microprocessor - based reclosing to coordinate fuse and recloser in a system with high penetration of distributed generation," IEEE Power Engineering Society Winter Meeting, Vol. 1, pp. 453–458, 2002.
- [10] I. M. Chilvers, N. Jenkins and P. A. Crossley, "The use of 11 kV distance protection to increase generation connected to the distribution network," 8th IEE International Conference on Developments in Power System Protection, Vol. 2, pp. 551 – 554, 5-8 Apr. 2004.
- [11] K. Tailor and A. H. Osman, "Restoration of fuse-recloser coordination in distribution system with high DG penetration," IEEE Power and Energy Society General Meeting-Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century, pp. 1-8, 20-24 Jul. 2008.
- [12] S. Chaitusaney and A. Yokoyama, "Impact of protection coordination on sizes of several distributed generation sources," 7th International Power Engineering Conference, Vol. 2, pp. 669-674, 29 Nov.-2 Dec. 2005.
- [13] S. Chaitusaney and A. Yokoyama, "An appropriate distributed generation sizing considering recloser-fuse coordination," IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exhibition: Asia and Pacific, pp. 1-6, 2005.
- [14] G. Tang and M. R. Iravani, "Application of a fault current limiter to minimize distributed generation impact on coordinated relay protection," International Conference on Power Systems Transients in Montreal, Canada on Jun. 19-23, 2005.
- [15] T. Sato, et al., "Study on the effect of fault current limiter in power system with dispersed generators," IEEE Transactions on Applied Superconductivity, Vol. 17, No. 2, pp. 2331 – 2334, Jun. 2007.
- [16] L. Ye, L. Z. Lin and K. P. Juengst, "Application studies of superconducting fault current limiters in electric power systems," IEEE Transactions on Applied Superconductivity; Vol. 12, No. 1, pp. 900-903, Mar. 2002.
- [17] C. S. Chang and P. C. Loh, "Integration of fault current limiters on power systems for voltage quality improvement", Elsevier journal of Electric Power Systems Research; Vol. 57, No. 2, pp. 83-92, Mar. 2001.