تطبیق حفاظت اضافه جریان برای فیدرهای توزیع با تولید پراکنده

دکترحسن آبروش، محمد مهدی سعیدنیا
دانشکده برق، دانشگاه مازندران

واژه‌های کلیدی: شبیه‌سازی، حفاظت فیدر، رله اضافه جریان، تولید پراکنده

چکیده

اتصال تولید پراکنده[۱](DG)به شبکه توزیع بر روی حفاظت فیدرها[۲] ، خصوصاً بر روی عملکرد رله‌های اضافه جریان اثر گذاشته و عملکرد آنها را دچار اشکال می نماید. در این مقاله به بررسی میزان تاثیر تولید پراکنده برروی عملکرد رله‌های اضافه جریان شبکه‌های توزیع پرداخته شده است. نتایج شبیه سازی نشان می دهد که اگر توان اتصالی تولید پراکنده حدود ٪۱۰توان شبکه باشد، جریان تنظیمی رله های اضافه جریان باید حدود ٪۷ کاهش یابد تا رله ها بتوانند با حضور تولید پراکنده در شبکه عملکرد صحیحی داشته باشند.

۱- مقدمه

تولید پراکنده به صورت یک گزینه برای تامین توان بعضی از مصرف‌کنندگان در آینده نزدیک مطرح میباشد، و به جای تولید توان توسط واحدهای بزرگ در محل‌های دور، توان توسط تعداد بیشتری از ژنراتورهای کوچکتر و به صورت پراکنده برای برآوردن نیاز مصرف‌کنندگان مورد استفاده قرار گیرند. این ژنراتورها توان را در سطح ولتاژ کمتر تولید می‌کنند و بنابراین به صورت مستقیم به شبکه‌های توزیع و در نزدیکی مراکز بار متصل می‌شوند[۱].

توان تولید پراکنده بدو صورت ac وdc می باشد. از جمله تولید پراکنده هایی که تولیدdc دارند می توان پیل سوختی، مایکرو توربینها و سلولهای خرشیدی را نام برد. برای تبدیل توان dc آنها به ac نیاز به اینورتر می باشد.

پیکربندی شبکه‌های توزیع، معمولا بصورت شعاعی است که جهت جریان توان از یک سو می‌باشد(از سمت پست به سمت بار). اتصال تولید پراکنده به فیدرها در شبکه توزیع می‌تواند باعث دو جهته شدن توان به جای یکسویه بودن آن شود، که این خود بر عملکرد و پایداری شبکهٔ توزیع به چندین طریق اثر گذار است. در این مقاله، فقط به بررسی تاثیر تولید پراکنده بر حفاظت سیستم توزیع پرداخته شده است.

بار در فیدرهای توزیع بین بخشهای آن پخش شده است. استراتژی حفاظت فیدرها بر این اصل استوار است که در صورت عملکرد، تا حد

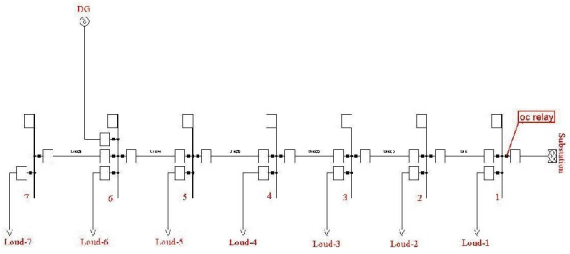
۱ -Distributed Generation
۲-Feeder

امکان مصرف‌کنندگان بیشتری برقدار باشند. و این به معنی ترکیبی از کلیدها، بازبستها[۳] و فیوزها برای از بین بردن اتصالیهای موقت و دائمی است. کلید اصلی در پست انتهای فیدر ، بازبستها در فیدرها که به رله‌های اضافه جریان مجهز شده اند به منظور جدا کردن هرگونه اتصالی دائم در طول فیدر بکار میروند. هرگاه جریان عبوری از رله از مقدار پیک آپ[۴] تنظیمی رله بیشتر شود، رله اضافه جریان یک سیگنال قطع برای کلید می‌فرستد. زمان قطع اتصالی با دامنه جریان عبوری از رله نسبت عکس دارد.

اتصال تولید پراکنده به فیدرها به سه صورت بر روی طرح حفاظتی اثرمی گذارد. که عبارتند از، پدیدهٔ جزیره شدگی[۵]، تأثیر بر عملکرد رله‌های اضافه جریان و در نهایت تاثیر بر هماهنگی میان فیوز و ریکلوزر در شبکه توزیع است. این مقاله تاثیر تولید پراکنده را بر روی عملکرد رله‌های اضافه جریان فیدرهای توزیع مورد بررسی قرار داده است. با شبیه سازی انجام شده بر روی یک شبکه نمونه و نتایج بدست آمده روشی برای عملکرد صحیح رله های اضافه جریان پیش نهاد گردیده است.

۲- تأثیر تولید پراکنده بر عملکرد رله اضافه جریان

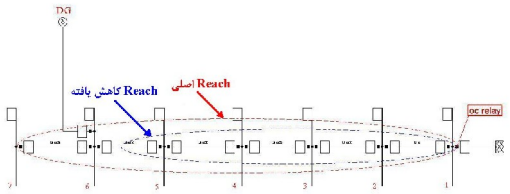
بمنظور بررسی تاثیر تولید پراکنده بر روی رله‌های اضافه جریان فیدرها، یک فیدر نمونه مورد استفاده قرار گرفته است(شکل۱). فرض شده که بار فیدر به طور کامل در طول فیدر توزیع شده است. فیدر توسط رله اضافه جریان حفاظت می‌شود و توان فیدر توسط پست با یک ترانسفورماتور کاهنده تامین می‌شود.



شکل ۱- فیدر ۷ باسه

الف- کاهش برد[۶] رله

تنظیم رله‌ها به گونه‌ای است که فاصله خاصی از فیدر را حفاظت نمایند، که به این فاصله در اصطلاح (برد) رله می گویند. برد رله توسط حداقل جریان پیک آپ رله تعیین می‌شود. تولید پراکنده باعث کاهش برد رله می‌شود. بنابراین اتصالی‌ها با یک امپدانس متوسط در انتهای فیدر توسط رله دیده نخواهند شد. (شکل ۲)



شکل ۲- برد رله با و بدون *DG*

کاهش در برد ناشی از این حقیقت است که اتصال تولید پراکنده امپدانس معادل فیدر را افزایش می‌دهد، بنابراین جریان اتصالی برای همان مقدار مقاومت اتصالی (R_f) کاهش می‌یابد برای فهمیدن تاثیر تولیدات پراکنده بر کاهش برد رله‌های اضافه جریان فیدرها، سیستم شکل (۱)برای مکان‌های مختلف اتصالی توسط نرم افزار ***DIGSILENT*** شبیه‌سازی شده است. بار کلی فیدر$۶MW$ می‌باشد، که یک ژنراتور پراکنده Kw ۶۰۰ با ضریب قدرت ۰/۹ به باس ۶ این فیدر متصل شده است. جریان پیک آپ رله اضافه جریانی که این فیدر را حفاظت می‌کند روی ۷۰۰ آمپر تنظیم شده است[۲].

قبل از اتصال هرگونه ژنراتور پراکنده به فیدر، یک اتصالی در باس ۷ با مقاومت اتصالی $Rf=$ ۱۰/۴ Ω باعث به وجود آمدن جریانی معادل ۷۱۰ آمپر در رله می‌شود که باعث می‌شود رله عمل کند.

۳-Autorecloser
۴-Pick-up
۵-Islanding

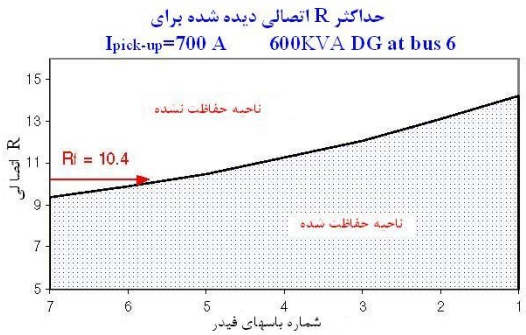
۱-Reach

بعد از اتصال تولید پراکنده، همان اتصالی جریان اتصالی معادل ۶۵۰ آمپر در رله ایجاد خواهد کرد، بنابراین رله عمل نخواهد کرد.

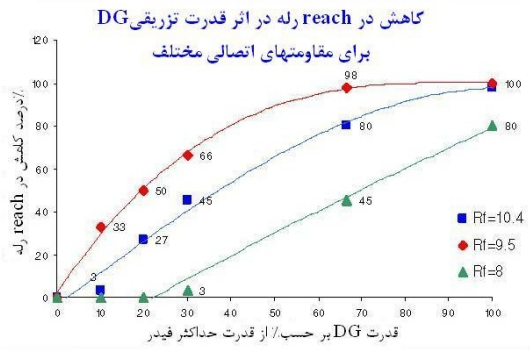
شکل(۳) نشان‌دهنده حداکثر مقاومت اتصالی در هر باس می‌باشد که با حضور تولید پراکنده در باس ۶ به وجود آوردنده جریان فالتی در رله می‌باشد که رله قادر به تشخیص آن است.

برای مثال برای اتصالی در باس ۷، حداکثر اتصالی که رله قادر به تشخیص آن می‌باشد، اتصالی با مقاومت اتصالی $Rf=$ ۹/۴ Ω می‌باشد، هر اتصالی با مقاومت بالاتر توسط رله دیده نخواهد شد. با توجه به شکل مشاهده می‌شود برای اتصالی‌ها با $Rf=$ ۱۰/۴ Ω ، حداکثر تا باس ۶ حفاظت خواهد شد. اگر اتصالی در فاصله دورتر با همین مقاومت اتصالی اتفاق بیفتد، رله آن را نمی‌بیند. برای این مقاومت اتصالی بردرله از ٪۱۰۰ به ٪۸۳ طول فیدر کاهش می‌یابد.

شکل (۴) نشان‌دهنده تاثیر میزان قدرت تزریقی تولید پراکنده بر کاهش برد رله برای سه مقاومت اتصالی مختلف می‌باشد. میزان کاهش در برد با افزایش قدرت تزریق تولید پراکنده افزایش می‌یابد. برای یک Rf ویژه، افزایش در قدرت تولید پراکنده تا آنجایی باعث کاهش در برد رله می‌شود که تمامی فیدر به ازاء آن Rf بدون حفاظت می‌شوند. برای مثال اگر کل قدرت تولید پراکنده برابر ٪۷۰ کل بار فیدر باشد، یک اتصالی با مقاومت اتصالی Ω ۱۰/۴ در کل طول فیدر توسط رله دیده نخواهد شد[۴].



شکل ۳ – حداکثر Rf دیده شده در هر باس زمانی که قدرت تزریقی DG ۱۰٪ کل بار فیدر باشد



شکل ۴-کاهش برد رله بر حسب قدرت تزریقی DG

۳- تطبیق رله های اضافه جریان با شرایط جدید

همانطور که در بخش(۲) اشاره شد، اتصال تولید پراکنده باعث کاهش برد رله‌های اضافه جریان می‌شود، بنابراین امپدانس متوسط اتصال کوتاه افزایش می‌یابد و انتهای فیدر بدون حفاظت خواهد شد. بمنظور بررسی بروز این مشکل، سیستم نوعی در بخش(۱) را یکبار بدون حضور تولید پراکنده و بار دیگر با اتصال تولید پراکنده به باس شماره ۴ و وقوع اتصالی در باس شماره ۷ توسط نرم افزار ***DIGSILEN***شبیه‌سازی کردیم، جریان اتصالی دیده شده توسط رله را در هر دو حالت بر حسب مشخصه زمان- جریان رله رسم نمودیم.

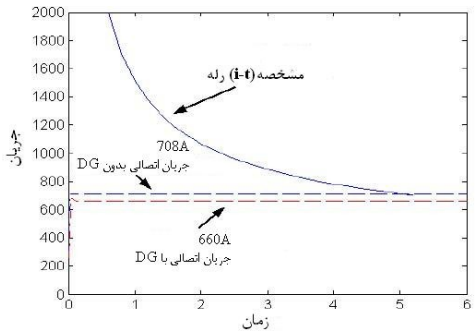
رله اضافه جریان که دارای مشخصه زمان- جریان معکوس می‌باشد با کاهش در جریان اتصال کوتاه، زمان قطع آن افزایش می‌یابد و زمان قطع جریان اتصالی برابر با $I_{pick\,up}$ حداکثر خواهد بود. معادله زیر رابطه بین جریان اتصالی و زمان قطع می‌باشد:

$$t_p = \frac{T_1}{(I / I_{pick})^{\alpha}} + T_2$$

که t_p زمان برای قطع، T_1 ثابت زمانی که بستگی به پارامترهای طراحی رله دارد، T_2 ثابت زمانی که برای اشباع در مدار مغناطیسی در نظر گرفته می‌شود، α متناسب با نوع رله تغییر می‌کند (معکوس، کاملاً معکوس و ...) و در نهایت I_{pick} جریان تنظیم پیک آپ رله می‌باشد، ما از مشخصات رله اضافه جریان زمان معکوس ABB نوع CO-۸ استفاده کرده‌ایم، که $\alpha = 2$ ، $T_1 = B$ و $T_2 = 0{,}59$. شکل ۵ نشان‌دهنده شبیه‌سازی مشخصه رله با استفاده از $MATLAB$ است. در این شکل منحنی مشخصه رله بالای جریان اتصالی دیده شده توسط رله قرار داده شده است[۴].

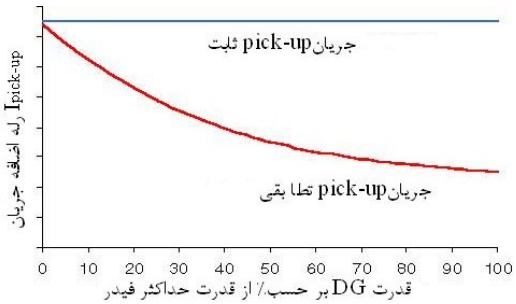
همانطور که در شکل نشان داده شده است برای حالتی که هیچ تولید پراکنده‌ای به فیدر متصل نیست، رله در حدود ۴/۹ ثانیه قطع می‌کند. این در حقیقت طولانی‌ترین زمان قطع می‌باشد چون

موقعیت اتصالی طوری انتخاب شده است که جریان اتصالی معادل حداقل جریان پیک آپ رله ایجاد کند. همچنین شکل نشان می‌دهد که در حضور تولید پراکنده برای اتصالی در همان موقعیت قبلی رله قطع نخواهد کرد.



شکل ۵- مشخصه رله و جریان اتصالی

برای حل این مشکل پیشنهاد می شود که جریان I_{pickup} رله همانطور که در شکل ۶ نشان داده شده است تغییر پیدا کند، کاهش I_{pickup} رله متناسب با افزایش قدرت تزریقی توسط تولید پراکنده می‌باشد. بمنظور شناخت مقدار I_{pickup} در طول منحنی و رفتار تولید پراکنده و اثرات آن در طول زمان اتصال کوتاه لازم است که مولدهای پراکنده را به شبکه متصل و اثرات آنرا در حین و بعد از اتصال کوتاه مورد بررسی قرار دهیم.



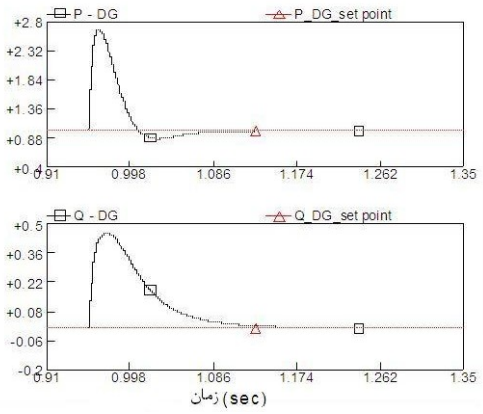
شکل ۶- مقدار جریان pick-up ثابت و تطابقی

الف- پاسخ تولید پراکنده تحت موقعیت‌های اتصال کوتاه

برای فهمیدن عملکرد تولید پراکنده تحت موقعیت‌های اتصال کوتاه، همان مثالی را که پیشتر با اتصال تولید پراکنده در باس(۴)بوده است را شبیه‌سازی کنیم. تولید پراکنده شبیه‌سازی شده یک پیل سوختی همراه با اینورتر و کنترل شده توسط یک کنترلر PI می‌باشد. همانطور که در شکل ۷ نشان داده شده است، بعد از اتصال کوتاه حدود ۱۱۰ میلی‌ثانیه طول می‌کشد تا تولید پراکنده میزان P , Q خود را به نقطهٔ تنظیمی قبلی برساند. که $P_{set}=1MW$ و $Q=0\ MVAR$ مولدهای پراکنده اینورتری با سیستم‌های کنترل پیشرفته طی یک زمان کوتاه میزان توان اکتیو و راکتیو خود را به نقطه تنظیمی قبلی می‌رسانند، بنابراین اگر ما حالت گذرای مولدهای پراکنده را حداقل بگیریم (حدود ۰/۱ ثانیه) می‌توانیم میزان توان اکتیو تزریقی توسط مولد پراکنده را در طی وقوع اتصالی همان مقداری بگیریم که قبل از وقوع اتصالی توسط مولد پراکنده تولید می‌شد[۵].

ذکر این نکته ضروری است که درست است که مولدهای پراکنده می‌توانند بسرعت خود را با موقعیتهای اتصالی وفق دهند، اما بعضی از اتصالیها هستند که ممکن است باعث قطع اتصال مولد پراکنده از فیدر شوند. اگر مکان وقوع اتصالی بقدر کافی به مکان اتصال مولد پراکنده نزدیک باشد و ولتاژ باس مولد پراکنده به زیر مقدار مجاز برسد، رله های افت ولتاژ مولد پراکنده، مولد پراکنده را از فیدر جدا خواهند کرد[۵].

سرعت عملکرد رله‌ای افت ولتاژ در استاندارد $IEEEP۱۵۴۷$ آمده است، که اگر ولتاژ باس مولد بین $0/5<V_{DGbus}<0/88\,pu$ باشد، مولد پراکنده باید ظرف ۲ ثانیه قطع شود و اگر ولتاژ باس مولد پراکنده کمتر از $0/5\,pu$ شود، مولد باید ظرف کمتر از ۰/۱۶ ثانیه قطع شود. بنابراین جایگاه مولد پراکنده در خلال اتصالی در فیدر توسط رله‌های حفاظتی افت ولتاژ آن تعیین می‌گردد.

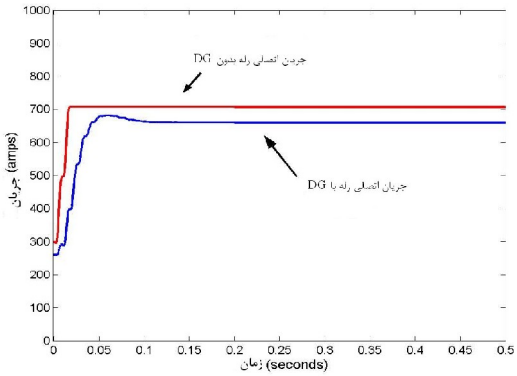


شکل۷- قدرت خروجی *DG* در طی وقوع اتصالی

ب- تأثیر مولد پراکنده بر جریان اتصالی

اکنون ما سعی در فهمیدن تاثیر پاسخ مولد پراکنده بر روی جریان اتصالی دیده شده توسط رله خواهیم پرداخت. ما مثالی را که قبل‌تر به آن اشاره شد را با مقاومت اتصالی 10Ω شبیه‌سازی خواهیم کرد، و شکل ۸ نشان دهنده جریان اتصالی در پست انتهای فیدر با و بدون مولد پراکنده می‌باشد. منحنی بالایی که حالت گذرای کمتری‌دارد نشان دهنده جریان اتصالی هنگامی که هیچ مولد پراکنده‌ای به فیدر متصل نمی‌باشد است، همانطور که در شکل دیده می‌شود جریان اتصالی بعد از ۲۰ میلی‌ثانیه به مقدار پایدار ۷۰۸ آمپر می‌رسد.

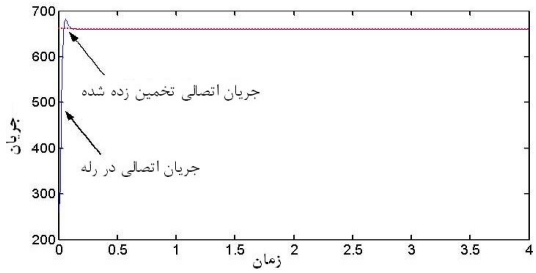
منحنی پایینی جریان اتصالی هنگامی که مولد پراکنده به باس شماره ۴ متصل است را نشان می‌دهد، در این حالت جریان اتصالی بعد از حدود ۵۰ میلی‌ثانیه به مقدار پایدار ۶۶۰ آمپر می‌رسد. همچنین شکل ۸ تاثیر مولد پراکنده بر حالت گذرای جریان اتصالی را نیز نشان می‌دهد.



شکل۸- جریان اتصالی دیده شده توسط رله با و بدون *DG*

همانگونه که قبلا ذکر گردید تنظیم رله به تخمین جریان اتصالی در رله بستگی دارد، که مکان و جریان خروجی مولد پراکنده در آن تاثیرگذار است. بنابراین در ابتدا به یک مدل برای سیستم خود نیازمندیم. برای تعیین مدل سیستم، دو فرض را در نظر می‌گیریم. اول اینکه فرض میکنیم که حالت گذرا در مولد پراکنده بسیار ناچیز است، حالت گذرای مولد پراکنده حدود ۰٫۱ ثانیه در خلال بروز اتصالی است. این فرض تا حدود زیادی با توجه به کنترلرهای مولد پراکنده قابل قبول است. این فرض بما اجازه می‌دهد که مولد پراکنده را بصورت یک منبع جریان با خروجی ثابت در خلال اتصال کوتاه درنظر بگیریم.

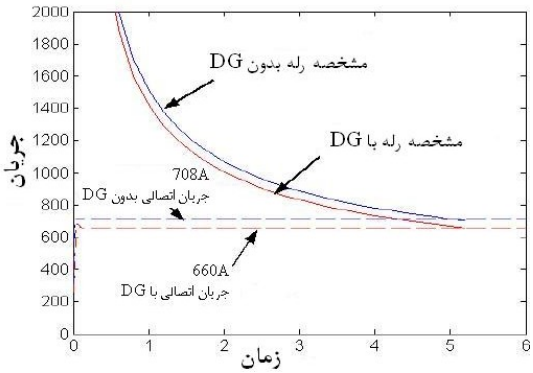
فرض مهم دومی ثابت گرفتن جریان اتصالی در داخل رله و برابر با مقدار حالت پایدار اتصالی همانطور که در شکل (۹) نشان داده شده است می‌باشد. این فرض باعث خطای اندکی می‌شود که قابل صرف‌نظر می‌باشد.



شکل ۹- تخمین جریان اتصالی

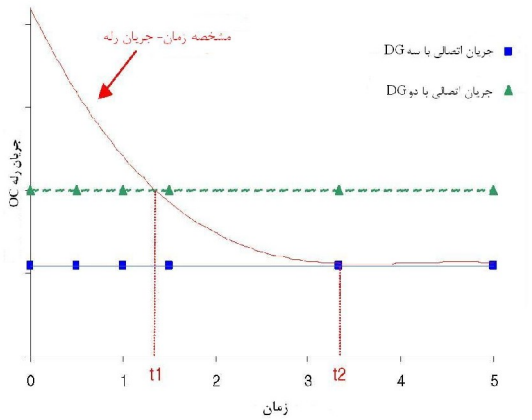
متأسفانه، استاندارد تحلیل اتصال کوتاه برای منابع جریان وجود ندارد. بنابراین به روش دیگری برای حل این مدار نیاز است. روش پیشنهادی روش جاری شدن توان (power flow technique) است که در آن جریان و ولتاژ در دو گره می‌تواند برای خروجی مولد پراکنده مورد نظر بدست آورده شود. این نتایج توسط معادلات غیرخطی بیان می‌شوند که توسط روش گاوس- نیوتن قابل حل است[۶]. این ایده تست شد و نتایج آن با نتایج بدست آمده از شبیه‌سازی توسط نرم‌افزار مقایسه گردید و مقدار جریان در رله با دقت حدود ± 1 آمپر بدست آمد.

اکنون می‌توانیم مقدار جریان اتصالی در رله را با تقریب خوبی تخمین بزنیم، و حداقل جریان پیک آپ رله را بسته به پیکربندی فیدر تنظیم کنیم. همانطور که در شکل (۱۰) مشاهده می‌شود، هنگامی که هیچ مولد پراکنده‌ای به فیدر متصل نیست، می‌توانیم حداقل جریان پیک‌آپ را روی ۷۰۰ آمپر تنظیم کنیم. اما وقتی مولد پراکنده متصل می‌شود، باید مقدا این جریان را دوباره محاسبه کنیم، که برای این حالت ۶۶۰ آمپر می‌شود که در شکل نشان داده شده است. این تکنیک تطابقی سبب می‌شود که فیدر همیشه محافظت شود خواه مولد پراکنده به آن متصل باشد یا نباشد.



شکل ۱۰- مقدار واقعی و اصلاح شده مشخصه رله با جریان اتصالی

این نکته قابل ذکر است که ممکن است برخی از مولدهای پراکنده در اثر وقوع اتصالی توسط رله‌های کاهش ولتاژ از فیدر قطع شوند. برای حل این رویداد یک ایدهٔ محافظه‌کارانه را درنظر می‌گیریم. فرض می‌کنیم که تمامی مولدهای پراکنده به فیدر متصل باشند، آنگاه مقدار جریان پیک‌آپ را تنظیم می‌کنیم، اگر تعدادی از این مولدهای پراکنده در خلال اتصالی از فیدر قطع شوند، این ایده باز هم قابل توجیح است، چون با خروج تعدادی از آنها مقدار جریانی که رله می‌بیند بیشتر خواهد بود، بنابراین رله سریعتر قطع می‌کند. مطابق شکل(۱۱)، اگر جریان پیک‌آپ رله را برای جریان اتصالی، هنگامی که ۳ مولد پراکنده در مدار باشند تنظیم کنیم، مطابق شکل در اثر وقوع اتصالی، رله در زمان t_2 قطع خواهد کرد، اما اگر ۲ مولد پراکنده در مدار باقی بمانند، مقدار واقعی جریان اتصالی بزرگتر خواهد بود و رله در زمان t_1 قطع خواهد نمود.



شکل ۱۱- مقدار حداقل جریان *pick-up* رله

۴- نتیجه‌گیری

اتصال تولید پراکنده به بکه توزیع موجب عملکرد نادرست رله ها ی اضافه جریان در هنگام اتصال کوتاه می شود، از جمله مشکلات بوجود آمده کاهش برد رله های اضافه جریان می باشد که باعث می شود بخشی از خطوط تحت پوشش حفاظتی قرار نگیرند. با شبیه سازی انجام شده مشخص گردید که کاهش برد رله های اضافه جریان با افزایش قدرت تزریقی تولید پراکنده متناسب است.اگر توان تزریقی تولید پراکنده حدود ۱۰٪ توان شبکه باشد، لازم است که جریان تنظیمی رله های اضافه جریان به میزان ۷٪ کاهش یابند تا بتواند همان عملکرد قبل خود را داشته باشند و حفاظت فیدرها محفوظ بماند.

۵- منابع

۱- Roger Dugan, “Distributed Generation”, IEEE Industry Applications Magazine ۲۰۰۲

۲- **P**. Barker, and R. **W.** De Mello, "Determining the Impact of Distributed Generation on Power Systems: Part ۱ - Radial Power Systems," Presented at IEEE PES summer power meeting, Seattle, WA, July, ۲۰۰۰.

۳- Girgis A. and Brahma S., "Effect of Distributed Generation on Protective Device Coordination in Distribution System," in Proc. ۲۰۰۱ Large Engineering Systems Conference on Power Engineering, pp.۱۱۵-۱۱۹.

۴- ABB website, Product technical guide ۱ZSE ۵۴۹۲-۱۰۴.

۵- “Intertie Protection of Consumer Owned Resources of Generation ۳ MVA or Less”, IEEE publication no. ۸۸TH۰۲۲۴-۶-PWR.

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