

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی برق و رباتیک
گروه قدرت

ارزیابی روشهای کاهش اثر منابع تولید پراکنده بر روی طرحهای حفاظتی
جریان زیاد فیدرهای شعاعی

دانشجو : علی اصغر صداقتی

استاد راهنما :

دکتر احمد دارابی

استاد مشاور:

دکتر اصیلی

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

شهریورماه ۱۳۹۰

دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده : مهندسی برق و رباتیک

گروه : قدرت

پایان نامه کارشناسی ارشد آقای علی اصغر صداقتی

تحت عنوان: ارزیابی روشهای کاهش اثر منابع تولید پراکنده بر روی طرحهای حفاظتی جریان زیاد

فیدرهای شعاعی

در تاریخ توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد

مورد ارزیابی و با درجه مورد پذیرش قرار گرفت.

امضاء	اساتید مشاور	امضاء	اساتید راهنما
	نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی :
	نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی :

امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء	اساتید داور
	نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی :
			نام و نام خانوادگی :
			نام و نام خانوادگی :
			نام و نام خانوادگی :

به نام یکتای مهربانی

که انسان را از روح خویش آفرید

و او را آگاهی عطا نمود

تا آب و خاک و آتش را مسخر خویش نماید

حذف حامی بزرگ و کار حامی بزرگ، قدم حامی بزرگ و حامی بزرگتر می طلبد. چه غمی است کسی

را که حامی اش خداوند متعال، قدم هایش استوار، کار هایش برای رسیدن به غایت مطلوب و

حدش خدمت به خلق پروردگار است. یارب، تو را به عصمت محمد مصطفی (ص) و به عظمت علی

ابن ابی طالب (ع) سوگند می دهم که مرا از این دست قرار ده.

تقدیم به

پدر عزیزم

به پاس دریا پریشان صبر و سخاوتش
او که در طوفان زندگی، همچون کوهی استوار برایم تکیه گاهی بی همتا است

و مادر دلسوزم

به یاد سخته سخته عشقی که شرم کرد
او که بر لب ترنم دعا دارد و در دل عشقی سوزان

و به همسر مهربانم

او که با نجابت معصومانه و محبت دلتوازش همواره سردی یاس را از ضمیر وجودم می زداید
همو که یادش سایه بان آرامشم است و دستهایش مرا به آرزوهایم پیوند می دهد.

و برادران و خواهرانم

همانان که تا همیشه گفتم محتاج نگاه مهربانان خواهر بود

اکنون که به لطف و عنایت الهی موفق به اتمام پایان نامه کارشناسی ارشد خود شده ام، بر خود لازم می دانم تا از

استاد ارجمند خود جناب آقای دکتر دارابی کمال تشکر و قدردانی را داشته باشم که با راهنمایی های کارگشایشان و

رحمت بی شائبه و دلسوزانشان، اینجانب را در پیشبرد این پایان نامه همواره یاری نموده و از هیچ کوششی دریغ

نفرمودند.

از خداوند سبحان توفیق و سلامتی و سربلندی روزافزون این استاد گرانجا را خواهانم.

اینجانب علی اصغر صداقتی تأیید می نماید که مطالب مندرج دراین پایان نامه نتیجه تحقیقات خود می باشد و در صورت استفاده از نتایج دیگران مرجع آن را ذکر نموده است.

کلیه حقوق مادی مترتب از نتایج مطالعات ، آزمایشات و نوآوری ناشی از تحقیق موضوع این پایان نامه متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد .

شهریور ۱۳۹۰

چکیده

ساختار سنتی شبکه‌های برق همواره بر مبنای عدم وجود منابع تولید انرژی الکتریکی در شبکه‌های توزیع استوار است اما در سال‌های اخیر به دلیل محدودیت‌های محیطی و جغرافیایی تولید، روند رو به رشد بار در شبکه‌های توزیع و نیاز به احداث نیروگاه‌های جدید، گرایش به سمت انرژی‌های پاک و سازگار با محیط زیست و قطع وابستگی به سوخت‌های فسیلی، توجه زیادی به منابع تولید پراکنده شده است. حضور منابع تولید پراکنده، علی‌رغم مزایای زیادی که دارد، دارای معایبی نیز می‌باشد.

منابع تولید پراکنده که در نقاط دور فیدر و در مجاورت بار نصب می‌شوند، می‌توانند به عنوان یک گزینه دائمی برای افزایش ظرفیت پست‌ها و فیدرها باشند که تا حدودی باعث کاهش تلفات توان و هزینه انتقال و توزیع می‌شوند. از سویی دیگر حضور منابع تولید پراکنده یک نگرانی بزرگ محسوب می‌شود زیرا فیدر با مسائل زیر مواجه می‌گردد:

۱- افزودن منابع تولید پراکنده به فیدرها به این معناست که جریان نامی و جریان خطا بین فیدر تغذیه کننده و منابع تولید پراکنده تقسیم می‌شود. از این رو جریان بار و جریان خطای عبوری از تجهیزات حفاظتی جریان زیاد ممکن است کاهش یا افزایش یافته یا ثابت بماند. که این امر خود باعث کاهش قابلیت اطمینان طرح‌های حفاظت جریان زیاد خواهد شد.

۲- از سویی با تغییر ماهیت شعاعی فیدرها بواسطه حضور منابع تولید پراکنده هماهنگی تجهیزات حفاظتی جریان زیاد به هنگام خطای دائمی و گذرا از بین می‌رود. به عنوان نمونه در یک خطای گذرا، حفاظت جریان زیاد ممکن است منجر به خروج دائمی شود که در نتیجه با کاهش قابلیت اطمینان فیدر روبرو می‌شویم.

۳- هم چنین طبق مطالعات صورت گرفته با اتصال منابع تولید پراکنده به فیدرهای شعاعی، با سه مسئله مرتبط با فیوز، که شامل فرسودگی فیوز، اثر مخرب ذوب فیوز و عملکرد ناقص فیوز است مواجه می‌شویم. فرسودگی فیوز هنگامی رخ می‌دهد که فیوز قبل از عملکرد سریع ریکلوزر در مرحله ذوب قرار می‌گیرد چنین عملکردی، به نظر نمی‌رسد که منجر به خروج دائمی فیدر گردد. ذوب مخرب فیوز نیز با ذوب فیوز قبل از عملکرد سریع ریکلوزر رخ می‌دهد که در نتیجه به خروج دائمی فیدر جانبی منجر می‌شود. در عملکرد ناقص نیز فیوز نادرست عمل می‌کند و خط سالم را جدا می‌کند. که وقوع این موارد ممکن است باعث خروج دائمی و در نتیجه جزیره‌ای شدن در طول خطای گذرا شود.

طی مطالعات صورت گرفته در سال‌های اخیر روشی مناسب میتنی بر جایگزینی فیوزهای تکفاز با یک ریکلوزر ارائه گردیده است که اغلب مشکلات مذکور مرتفع گردید. به عبارتی عملکرد اشتباه

فیوز و نیز ذوب مخرب فیوز به طور کلی حذف می‌گردد. اما نکته جالب توجه این است که بروز فرسودگی فیوز کاملاً برطرف نمی‌گردد. بدین منظور الگوریتم مناسبی طراحی و پیاده سازی می‌گردد تا با کمترین میزان تغییر ممکن در سیستم حفاظتی موجود، شبکه توزیع را برای حضور منابع تولید پراکنده ایمن سازد. با توجه به اهمیت حداقل تغییرات به منظور دستیابی به ظرفیت بهینه منبع تولید پراکنده، در پایان مباحثی درخصوص تعیین سطح نفوذ منبع تولید پراکنده با توجه به مسئله فرسودگی فیوز مطرح می‌گردد.

نهایتاً راهکارهای پیشنهادی جهت حذف اثر حضور منابع تولید پراکنده بر روی فیدر استاندارد IEEE ۳۴ گره مورد آزمایش قرار گرفت تا صحت عملکرد موارد پیشنهادی بررسی گردد. واژه‌های کلیدی: منابع تولید پراکنده، حفاظت جریان زیاد، فیدرهای شعاعی، شبکه‌های توزیع، فرسودگی فیوز، ذوب مخرب فیوز، عملکرد ناقص فیوز، هماهنگی فیوز-ریکلوزر

لیست مقالات مستخرج از پایان نامه

- 1- Sedaghati.A, Darabi.A, Assili.M “An Approach to Determine Penetration Level of Distributed Generation Considering Fuse Fatigue Issues in Distribution Radial Feeders” / The International Conference on Advanced Power System Automation and Protection – APAP2011
- 2- Sedaghati.A, Darabi.A, Assili.M “An Approach to Eliminate the Impact of Distributed Generation on Fuse Fatigue Issues in Distribution Radial Feeders”/ 46th International Universities’ Power Engineering Conference - UPEC 2011

فصل ۱. مقدمه ای بر منابع تولید پراکنده.....	۱
۱-۱ مقدمه	۲
۲-۱ تعاریف بیان شده از تولید پراکنده	۲
۳-۱ دلایل و تأثیرات استفاده از منابع تولید پراکنده	۴
۴-۱ بررسی انواع تکنولوژیهای منابع تولید پراکنده	۶
۱-۴-۱- توربینهای بادی	۶
۲-۴-۱- توربینهای آبی کوچک	۷
۳-۴-۱- سیستمهای فتوولتائیک (PV)	۸
۴-۴-۱- انرژی زمین گرمایی	۱۰
۵-۴-۱- سیستمهای زیست توده	۱۳
۶-۴-۱- میکروتوربین	۱۴
۷-۴-۱- پیلهای سوختی	۱۶
۵-۱- پتانسیل منابع تولید پراکنده در ایران.....	۱۷
فصل ۲. معرفی سیستم حفاظت شبکه های توزیع	۱۸
۱-۲ مقدمه	۱۹
۲-۲ حفاظت شبکه های توزیع	۲۰
۳-۲ هدف از حفاظت شبکه های قدرت و توزیع	۲۰
۱-۳-۲- علل بروز خطا.....	۲۱
۲-۳-۲- انواع خطاها	۲۱
۳-۳-۲- آمار خطاها	۲۲
۴-۲ هدف و ویژگی رله ها و دیگر تجهیزات حفاظت جریان زیاد.....	۲۲
۱-۴-۲- فیوزها	۲۳
۲-۴-۲- رله های اضافه جریان و ریکلوزرها.....	۲۴

۲۶	۵-۲ فلسفه حاکم بر هماهنگی حفاظتی در شبکه های توزیع سنتی
۲۶	۲-۵-۱- هماهنگی فیوز- فیوز.....
۲۷	۲-۵-۲- هماهنگی ریکلوزر - فیوز
۲۹	۲-۵-۳- هماهنگی رله-رله
۳۱	فصل ۳. اثرات منابع تولید پراکنده بر حفاظت جریان زیاد فیدرهای شعاعی شبکه های توزیع.....
۳۲	۱-۳ مقدمه
۳۳	۲-۳ تاثیر منابع تولید پراکنده بر حفاظت شبکه
۳۴	۳-۳ بررسی جریان و قدرت اتصال کوتاه و تاثیر منبع تولید پراکنده بر سطح اتصال کوتاه
۳۶	۳-۴ تاثیر نوع فن آوری واحد منابع تولید پراکنده بر مقدار جریان خطا
۳۷	۳-۵ تاثیر اندازه منبع تولید پراکنده بر جریان خطا
۳۹	۳-۶ تاثیر حضور تولید پراکنده بر هماهنگی فیوز- ریکلوزر
۴۱	۳-۷ تعیین حداکثر سائز منبع تولید پراکنده جهت حفظ هماهنگی فیوز -ریکلوزر
۴۵	۳-۸ تاثیر حضور تولیدات پراکنده بر هماهنگی فیوز- فیوز و رله- رله
۴۸	۳-۹ تاثیر منابع تولید پراکنده بر خروج بی موقع و یا تریپ اشتباه رله
۴۹	۳-۱۰ کورشدن حفاظت و عدم عملکرد رله جریان زیاد با حضور منابع تولید پراکنده
۵۲	۳-۱۱ خطا در عملکرد ریکلوزر در حضور منابع تولید پراکنده.....
۵۳	۳-۱۲ جزیره های شدن ناخواسته در حضور منابع تولید پراکنده.....
۵۵	۳-۱۳ روش های نوین حفاظت
۵۵	۳-۱۳-۱- سیستم حفاظت تطبیقی
۵۶	۳-۱۳-۲- اندازه گیری همزمان فازوری
۵۷	۳-۱۳-۳- سیستم های هوشمند
۵۷	۳-۱۳-۴- استفاده از تبدیل موجک
۵۹	فصل ۴. معرفی راهکارهای ارائه شده تا کنون.....
۶۰	۱-۴ مقدمه
۶۰	۲-۴ حفاظت جریان زیاد فیدرهای شعاعی با فلسفه حفظ فیوز
۶۴	۳-۴ مباحث حفاظت جریان زیاد در فیدر شعاعی با حضور منبع تولید پراکنده
۶۶	۴-۴ اعمال روشی برای حفاظت جریان زیاد با حفظ فیوز

۵-۴	تغییرات حفاظت سیستم	۶۷
۶-۴	هماهنگی تجهیزات حفاظتی افزوده شده	۶۸
۷۰	فصل ۵. ارائه روش پیشنهادی و موارد مطالعاتی	
۵-۱	معرفی الگوریتم پیشنهادی برای حذف اثر فرسودگی فیوز	۷۱
۵-۲	نتایج حاصل از اجرای الگوریتم پیشنهادی در شبکه نمونه	۷۴
۵-۳	معرفی شبکه IEEE 34 Node Test Feeder و پیاده سازی روش پیشنهادی	۷۵
۵-۴	معرفی فیدر IEEE ۳۴ گره	۷۵
۵-۵	واحدهای تولید پراکنده	۷۶
۵-۶	مطالعات شبیه سازی	۷۶
۵-۶-۱	مورد مطالعاتی ۱	۷۷
۵-۶-۲	مورد مطالعاتی ۲	۷۹
۵-۶-۳	مورد مطالعاتی ۳	۸۰
۵-۷	تعیین حداکثر سطح نفوذ منابع تولید پراکنده	۸۲
۸۴	فصل ۶. نتیجه گیری و ارائه پیشنهادات	

فهرست جداول

- جدول (۱-۱): عمده‌ترین استفاده کنندگان از انرژی زمین گرمایی در جهان (برحسب مگاوات)... ۱۲
- جدول (۲-۱): پتانسیل‌های موجود در کشور ۱۷
- جدول (۱-۲): ثابت‌های مدل وارینگتون برای مشخصه‌های زمان کاهشی در استانداردهای IEEE و IEC ۲۵
- جدول (۱-۳): جریان خطای تولیدی توسط چند نوع واحد تولید پراکنده ۳۷
- جدول (۲-۳): حالت‌های مختلف خطا ۴۰
- جدول (۱-۵): چهار حالت ممکن برای وضعیت فیوز ۷۳
- جدول (۲-۵): نتایج حاصل از اجرای الگوریتم برای شبکه نمونه ۷۴
- جدول (۳-۵): پارامترهای واحدهای سنکرون تولید پراکنده ۷۷
- جدول (۴-۵): وضعیت فیوزهای فیدر با نصب تولید پراکنده در گره ۸۴۰ ۸۲
- جدول (۵-۵): وضعیت فیوزهای فیدر با نصب تولید پراکنده در گره ۸۴۸ ۸۲
- جدول (۶-۵): ماکزیمم ظرفیت DG قابل نصب با در نظر گرفتن حذف فرسودگی فیوز ۸۲
- جدول (۷-۵): میزان بروز فرسودگی فیوز با نصب DG در گره‌های مختلف ۸۳

فهرست اشکال

- شکل (۱-۱): دسته بندی تولیدات پراکنده از نظر ظرفیت..... ۴
- شکل (۲-۱): نمونه‌هایی از چراغ‌های خورشیدی در ایران..... ۱۰
- شکل (۳-۱): تولید گرما الکتریسیته در میکروتوربین‌ها..... ۱۴
- شکل (۴-۱): طرز عملکرد پیل هیدروژنی..... ۱۶
- شکل (۱-۲): مشخصه عملکردی رله جریان زیاد..... ۲۵
- شکل (۲-۲): نمایش یک فیدر ساده توزیع سنتی..... ۲۶
- شکل (۲-۳-الف): هماهنگی فیوز - فیوز..... ۲۷
- شکل (۲-۳-ب): محدوده هماهنگی فیوز - فیوز..... ۲۷
- شکل (۲-۴-الف): هماهنگی فیوز - ریکلوزر..... ۲۸
- شکل (۲-۴-ب): محدوده هماهنگی فیوز - ریکلوزر..... ۲۸
- شکل (۲-۵-الف): هماهنگی رله-رله..... ۲۹
- شکل (۲-۵-ب): محدوده هماهنگی رله-رله..... ۲۹
- شکل (۳-۱): شبکه دارای منبع تولید پراکنده..... ۳۵
- شکل (۳-۲): مدار معادل شکل (۳-۱)..... ۳۵
- شکل (۳-۳): تاثیر واحد تولید پراکنده بر حفاظت جریان زیاد..... ۳۸
- شکل (۳-۴): یک فیدر ساده برای بررسی چند حالت از خطا..... ۴۰
- شکل (۳-۵): محدوده مجاز برای تزریق جریان منبع تولید پراکنده..... ۴۲
- شکل (۳-۶): بخشی از یک سیستم توزیع ثانویه بزرگ با حضور منبع تولید پراکنده..... ۴۵
- شکل (۳-۷): هماهنگی فیوزها برای خطای پایین دست با حضور منبع تولید پراکنده..... ۴۶
- شکل (۳-۸): هماهنگی رله‌ها برای خطای پایین دست با حضور منبع تولید پراکنده..... ۴۶
- شکل (۳-۹): حد هماهنگی با حضور منبع تولید پراکنده در مورد جریان‌های خطای مختلف بواسطه فیوزها..... ۴۷

- شکل (۳-۱۰): حد برقرار ماندن هماهنگی رله‌ها در خطاهای بالادست با حضور منبع تولید پراکنده..... ۴۸
- شکل (۳-۱۱): تریپ اشتباه رله و خروج بی موقع آن..... ۴۹
- شکل (۳-۱۲): کور شدن حفاظت و جلوگیری از عملکرد رله..... ۵۰
- شکل (۳-۱۳): جلوگیری از عملکرد رله جریان زیاد..... ۵۱
- شکل (۳-۱۴): خطا در عملکرد ریکلوزر..... ۵۳
- شکل (۳-۱۵): جزیره‌ای شدن..... ۵۴
- شکل (۴-۱): بخشی از یک فیدر شعاعی نمونه با ریکلوزر و فیوز..... ۶۲
- شکل (۴-۲): هماهنگی میان ریکلوزر و فیوز در یک فیدر شعاعی..... ۶۳
- شکل (۴-۳): بخشی از یک فیدر شعاعی نمونه با یک منبع تولید پراکنده و ریکلوزر و فیوز..... ۶۵
- شکل (۴-۴): عدم هماهنگی میان ریکلوزر و فیوز..... ۶۶
- شکل (۴-۵): فیدری شعاعی با منبع تولید پراکنده ریکلوزر و فیوز و تجهیزات افزوده شده..... ۶۷
- شکل (۴-۶): هماهنگی با استفاده از روش مذکور برای خطاهایی که در فیدر اصلی رخ می‌دهند..... ۶۹
- شکل (۴-۷): هماهنگی با استفاده از روش مذکور برای خطاهایی که بر روی فیدرهای جانبی‌اند..... ۷۰
- شکل (۵-۱): سه ناحیه معرفی شده..... ۷۲
- شکل (۵-۲): حالت‌های مختلف مشخصه زمان معکوس فیوز و ریکلوزر..... ۷۳
- شکل (۵-۳): فیدر IEEE ۳۴ گره..... ۷۶
- شکل (۵-۴): بروز اثر ذوب مخرب فیوز در F_4 قبل از اجرای روش پیشنهادی..... ۷۸
- شکل (۵-۵): رفع اثر ذوب مخرب فیوز در F_4 بعد از بکارگیری مناسب ریکلوزر..... ۷۸
- شکل (۵-۶): عملکرد ناقص فیوز F_8 قبل از بکارگیری مناسب ریکلوزر..... ۷۹
- شکل (۵-۷): برطرف کردن عملکرد ناقص فیوز F_8 بعد از بکارگیری مناسب ریکلوزر..... ۸۰
- شکل (۵-۸): وقوع فرسودگی فیوز F_7 قبل از بکارگیری مناسب ریکلوزر..... ۸۰
- شکل (۵-۹): رفع پدیده فرسودگی فیوز F_7 پس از بکارگیری مناسب ریکلوزر..... ۸۱

فصل ۱. مقدمه ای بر منابع تولید پراکنده

تولید پراکنده^۱، یک مفهوم و تکنولوژی جدید نیست، بلکه در ابتدای شکل‌گیری صنعت برق، تولید برق به صورت محلی انجام می‌شد. با رشد صنعت برق، نیروگاه‌ها به صورت بزرگ و متمرکز و در نواحی دور از مصرف‌کننده‌های پایانی ایجاد شدند. امروزه، با رشد روزافزون تقاضای برق و نیز حرکت سیستمهای قدرت از ساختار سنتی به سمت ساختار رقابتی و مشکلات اقتصادی و محیطی نیروگاههای بزرگ، تولیدات پراکنده جایگاه سابق خود را باز یافته است. عموماً تولید برق در محل مصرف را تولیدات پراکنده گویند. اما گاهی به تکنولوژیهای گفته می‌شود که از منابع تجدیدپذیر برای تولید برق استفاده می‌کنند. چیزی که مورد قبول است، این است که این مولدها صرف نظر از نحوه تولید توان آنها، نسبتاً کوچک بوده و ظرفیت آنها معمولاً کمتر از ۳۰۰ MW می‌باشد و مستقیماً به شبکه توزیع وصل می‌شوند.

در منابع تولید پراکنده از تکنولوژیهای مختلفی نظیر واحدهای فتوولتاییک، توربینهای بادی، ژنراتورهای کوچک آبی، پیلای سوختی، زیست توده، توربینهای کوچک گازی، میکروتوربینها و غیره. استفاده میشود.

پیش بینی می‌گردد که در آینده تولیدات پراکنده سهم قابل توجهی از تولید برق جهان را به خود اختصاص بدهند که دلیل این امر نیز مزایای قابل توجه این منابع است.

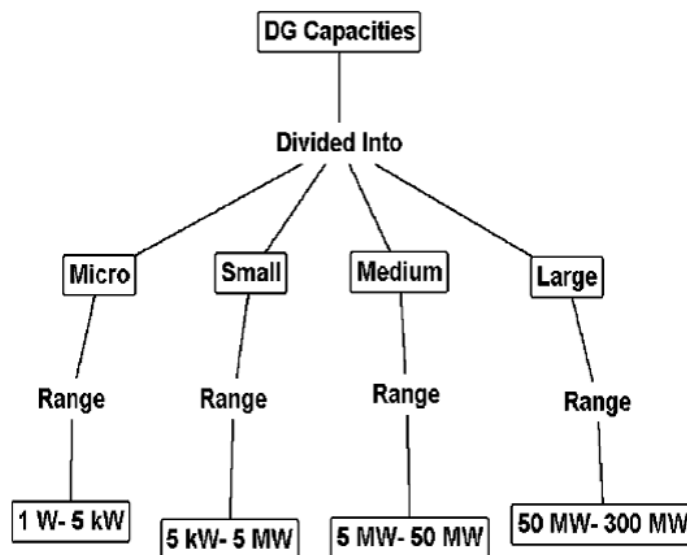
۲-۱ تعاریف بیان شده از تولید پراکنده

در منابع و مراجع مختلف، تعاریفی که برای تولید پراکنده ارائه شده است تا حدودی متفاوت است. و این مسئله با توجه به اینکه بحث تولید پراکنده به تازگی مورد توجه قرار گرفته، قابل درک می‌باشد. [۱], [۲], [۳]

- **IEEE**: تولید برق توسط وسایلی که به اندازه کافی از نیروگاههای مرکزی کوچکتر باشند و قادر به نصب در محل مصرف هستند را به عنوان تولید پراکنده تعریف کرده است.
- **CIGRE**: برنامه‌ریزی و بهره‌برداری متمرکز نداشته باشند، معمولاً به شبکه توزیع متصل می‌شوند، و کوچکتر از ۱۰۰ MW باشند.
- **IEA**: واحد های تولید کننده توان در محل مصرف یا در داخل شبکه توزیع که توان را به طور مستقیم به شبکه توزیع محلی تزریق می‌کنند را منابع تولید پراکنده معرفی می‌کند.

حال در زیر نیز تعاریف مختلفی از تولید پراکنده که در چند کشور صنعتی دنیا بیان شده است را آورده‌ایم:

- **آلمان:** معمولاً به انرژی خورشید، بادی (متصل به سطح ولتاژ تا ۱۰ KV) و آبی کوچک (تا ۲۰ KW) گفته می‌شوند.
 - **انگلیس:** تولیدی که به سیستم توزیع تا ۱۳۲ KV وصل می‌شود، و ممکن است به صورت متمرکز بهره برداری شود.
 - **آمریکا:** منابع کوچک تولید کننده توان (از چند کیلووات تا ۵۰ MW) که به شبکه توزیع، در طرف مصرف کننده متصل می‌شود.
 - **فرانسه:** به شبکه توزیع، با قابلیت تغذیه مستقیم بار خریداران با سطوح ولتاژ ۲۰، ۱۵ و ۰.۴ کیلو ولت متصل می‌شود.
 - **استرالیا:** تولیدی است که به شبکه توزیع (تا ۱۳۲ KV) وصل می‌شود و قادر است مستقیماً بار خریدار را تغذیه می‌کند.
- همانطوریکه مشاهده می‌شود تعاریف بیان شده، بسته به نوع ساختار سیستم قدرت کشورها و یا شرایط اقلیمی آنها متفاوت می‌باشد. در شکل زیر نیز منابع تولید پراکنده را با توجه به ظرفیت تولیدشان به چهار دسته خیلی کوچک، کوچک، متوسط و بزرگ تقسیم بندی می‌شوند.



شکل (۱-۱): دسته بندی تولیدات پراکنده از نظر ظرفیت [۴]

همانطور که بیان شده بود، از شکل بالا نیز می‌توانیم دریابیم که تمامی منابع تولید پراکنده دارای ظرفیتی کوچکتر از ۳۰۰ MW هستند.

در مراجع و مقالات مختلف خارجی، برای بیان منابع تولید پراکنده گاهی از اصطلاحات رایج دیگری نیز استفاده می‌شود، که برخی از آنها در زیر آمده است:

- Dispersed Generation
- Embedded Generation
- Distributed Resources

بطور کاربردی‌تر می‌توان گفت که منظور از تولید پراکنده استفاده از منابع انرژی تجدید پذیر و تجدید ناپذیر نظیر نیروگاههای بادی، خورشیدی، میکرو توربینها و ... می‌باشد، که در شبکه‌های توزیع انرژی و به‌منظور تولید قسمتی از توان مورد نیاز شبکه با توان خروجی از چندین کیلووات تا چندین مگاوات به‌صورت پراکنده در نزدیکی مصرف کنندگان بکار برده می‌شود. هدف از استفاده از منابع تولید پراکنده در شبکه‌های توزیع، تأمین تمام یا قسمتی از توان مصرفی شبکه به‌صورت تمام‌وقت یا پاره‌وقت می‌باشد. بایستی توجه داشت که در گذشته استفاده از دیزل ژنراتور به عنوان منبع تولید پراکنده در شبکه‌های توزیع یک روشی قدیمی برای تضمین تولید توان بارهای الکتریکی حساس بوده که از لحاظ اقتصادی چندان به صرفه نبوده است.

۳-۱ دلایل و تأثیرات استفاده از منابع تولید پراکنده

استفاده از منابع تولید پراکنده به خاطر کوچک بودن ظرفیت تولیدیشان شاید در بعضی مواقع به ظاهر صرفه اقتصادی نداشته باشد، اما علاوه بر صرفه اقتصادی مسائل دیگری نیز در استفاده از این مولدها دخیل هستند. عوامل محرک فراوانی باعث افزایش تمایل به بکارگیری سیستمهای تولید پراکنده شده است و تحولات اخیر نیز، در همین راستا فضای جدیدی را برای زیر بنای انرژی الکتریکی ایجاد نموده که عبارتند از:

- تغییر در صنعت برق، بحث بازار برق و مسائل اقتصادی کیفیت توان و در ادامه قطع ساختار متمرکز در سیستمهای قدرت
- افزایش تقاضای مشترکین برای سرویس با قابلیت اطمینان بالا
- مخالفت عمومی برای ساخت خطوط انتقال جدید بدلیل اثرات بد زیست محیطی بر زمینها
- اطلاع و آگاهی عمومی از اثرات بد زیست محیطی تولید انرژی الکتریکی
- افزایش سریع تقاضا انرژی الکتریکی در نواحی معینی از یک کشور
- پیشرفتهای مهم در تکنولوژی های مختلف تولید مانند میکرو توربینها، پیلهای سوختی، سلولهای خورشیدی و غیره که در مقایسه با نیروگاههای معمول زغال سنگی، نفتی و گازی سازگاری بیشتری با محیط زیست دارند.

- افزایش درخواست عمومی به منظور توسعه تکنولوژیهای "سبز"، که بر اساس منابع انرژی تجدید پذیر می‌باشند.

در ایران نیز روند رو به رشد تقاضا برای انرژی الکتریکی طی سال‌های آتی، مسائل آلودگی هوای شهرهای بزرگ به خصوص تهران و نیز نیل به هدف اساسی همچون توسعه پایدار، دستیابی به دانش فراهم‌آوری انرژیهای غیر فسیلی را می‌طلبد. از جهت دیگر برای رسیدن به اقتصادی پویا و غیرمتکی به درآمدهای حاصل از نفت خام، تغییر نگرش به استفاده بهتر از منابع نفت و گاز لازم و ضروری است.

در کشورمان ایران برای استفاده از این فناوری، طبق موضوع بند "ب" ماده ۲۵ قانون برنامه چهارم توسعه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی جمهوری اسلامی ایران نیز، شرایطی ویژه و تضمینی برای خرید برق از ارائه دهندگان انرژی با این منابع جهت ترغیب و تشویق آنها به تولید برق توسط مولدهای مقیاس کوچک و آرایه آن در مراکز مصرف ارائه شده است.

تولید پراکنده می‌تواند با تولید برق در ظرفیت‌های کوچک برای هر واحد، تمام یا قسمتی از توان الکتریکی مورد نیاز شبکه را برای افزایش قابلیت اطمینان آن شبکه تأمین نماید یا بعنوان منابع تولید آماده بکار برای بهبود برخی دیگر از شاخص‌های استاندارد قابلیت اطمینان استفاده شود. برای درک بیشتر اهمیت موضوع، مزایای استفاده از منابع تولید پراکنده را در ادامه بطور خلاصه بیان می‌شود.

- بهبود کیفیت توان و اغتشاشات ولتاژ (THD)
 - بهبود پروفیل ولتاژ و نامتعادلی ولتاژ
 - کاهش تلفات انتقال توان
 - افزایش قابلیت اطمینان
 - جلوگیری یا به تعویق انداختن گسترش خطوط انتقال جدید و یا ارتقاء تجهیزات آنها
 - پیک سای^۱
 - افزایش راندمان، با استفاده از تولید همزمان توان و گرما^۲ (CHP)
 - توجه به محیط زیست (در صورت استفاده از منابع تجدیدپذیر)
 - تحقق خصوصی سازی واقعی با تبدیل سرمایه گذاران بزرگ به سرمایه داران کوچک
- هرچند نصب منابع تولید پراکنده در شبکه توزیع منافع زیادی دارد اما در جاییابی و نصب منابع تولید پراکنده باید توجه خاصی به اثرات منفی احتمالی آن روی شبکه توزیع داشته باشیم، که شاید بیشترین این تاثیرات، مسائل مربوط به سطح ولتاژ و هماهنگی حفاظتی باشد. در این مقاله، تاکید بر مسائل حفاظت جریان زیاد فیدرهای شعاعی بوده و مشکلاتی که در این زمینه با نفوذ منابع تولید

1- Peak Shaving

2- Combined of Heat and Power

پراکنده در شبکه ایجاد می شود بیان گشته و نیز به طراحی و هماهنگی رله و فیوز و ریکلوزر در شبکه توزیع و تغییراتی که نیاز است، پرداخته می شود.

البته مطمئن نباید فقط روی مشکلات ناشی از منابع تولید پراکنده همچون مشکلات حفاظتی آن که در فصل آینده به آن پرداخته می شود، تمرکز کرد، بلکه باید فوائد آن را نیز در نظر گرفت. در یک شرایط مساعد قابلیت اطمینان تمام سیستم افزایش می یابد و پیک تقاضای توان فشار کمتری بر سیستم وارد خواهد آورد. مهمتر اینکه این احتمال وجود دارد که با استفاده از منابع محلی بتوان هزینه الکتریسیته را، با کاهش تلفات انتقال و حذف یا تأخیر در سرمایه گذاری های گران در زیرساخت کاهش داد. در نتیجه با تمامی دلایل ذکر شده می توان گفت با توجه به نیاز بیست سال آینده کشور به بیش از هفتاد هزار مگاوات مصرف پیک و در نظر گرفتن ضریب ذخیره تولید، بر مبنای گزارش مقدماتی صنعت برق ایران در سال ۱۴۰۰ برای تولید بیش از نود هزار مگاوات در نیروگاهها میزان سرمایه گذاری بالای بیست میلیارد دلار خواهد بود که هر چه بتوان این سرمایه گذاری را از طریق واحدهای منابع تولید پراکنده توسط مصرف کنندگان تأمین کرد می توان از خروج ارز ناشی از فروش سرمایه های ملی ممانعت نمود.

۴-۱ بررسی انواع تکنولوژی های منابع تولید پراکنده

در ادامه این فصل چند نمونه از فن آوری های مطرح و مورد استفاده در سیستم های تولید پراکنده بررسی می گردد و مزایا و معایب هر کدام بیان می شود که شامل توربین بادی^۱، توربین برق آبی^۲، فتو ولتایک^۳ (خورشیدی^۴)، زمین گرمایی^۵، زیست توده^۶ و ... هستند.

۴-۱-۱ توربین های بادی

باد یک منبع انرژی تمیز، رایگان و بی پایان می باشد، که از دیر باز به صورتهای مختلف مورد استفاده بشر قرار گرفته است. انرژی باد، بسیار در دسترس و فراوان است. (۱۶۷۰ تریلیون KWH/year بر روی کره زمین) ولی توزیع یکنواختی ندارد. توربینهای بادی در مقیاسها و کاربردهای مختلفی به کار می روند، از مزارع بادی با تعداد توربینهای زیاد که به شبکه متصل هستند تا توربینهای منفردی

1- Wind Turbine

2- Hydro Power Turbine

3- Photo Voltaic

4- Solar battery

5- Geothermal

6- Biomass

که ممکن است به شبکه وصل نباشند و یا توربینهایی که برای پمپاژ آب مورد استفاده قرار می‌گیرند. با توجه به مورد کاربرد، راستای محور و ظرفیت تولید، توربینها دارای ساختارهای متفاوت از نقطه نظر اجزا تشکیل دهنده و روشهای کنترلی می‌باشند. توربینهای بادی، انرژی الکتریکی را بوسیله تبدیل انرژی حرکتی هوا(باد) که بصورت انرژی مکانیکی است و تبدیل به انرژی الکتریکی AC ایجاد می‌کند. توربینهای بادی می‌توانند، در خطوط انتقال فرعی و یا در خطوط توزیع نصب گردند. بسته به نوع تکنولوژی بکار رفته در توربینهای بادی در سه حالت: سرعت ثابت با کنترل زاویه پروانه، سرعت تقریباً ثابت و سرعت متغیر کار می‌کنند. معمولاً حالت سرعت تقریباً ثابت بدلیل سادگی آن مورد استفاده قرار می‌گیرد. توربین بادی در اندازه‌های حدود چند کیلو وات تا بیشتر از ۵ مگاوات می‌باشد. طول عمر توربینهای بادی معمولاً حدود ۲۰ سال بوده و در هر ۶ ماه نیاز به سرویس و نگهداری دارد.

در کشورمان ایران، وزارت نیرو نیز به منظور توسعه، ترویج و برنامه‌ریزی، نظارت و مدیریت اجرای طرح‌ها و بهره‌برداری از پتانسیل انرژی باد در کشور، اقدام به احداث و نصب سایت‌های ثبت آمار لحظه‌ای باد برای امکان‌سنجی احداث مزارع برق بادی و همچنین مدیریت ساخت و نصب و خرید توربین‌های بادی به شرح زیر نموده است:

- مدیریت طراحی، ساخت و نصب توربین بادی ۱۰ کیلوواتی در سهند تبریز
- مدیریت طراحی، ساخت و نصب توربین بادی ۶۰۰ کیلوواتی در بابائیان منجیل
- پروژه پتانسیل سنجی و تهیه اطلس باد کشور
- نصب ۱۰ واحد ایستگاه باده‌سنجی ۱۰ و ۴۰ متری در استان گیلان (بابائیان، علی‌آباد، فلیده و ...)
- نصب ۷ واحد ایستگاه باده‌سنجی ۱۰ و ۴۰ متری در استان‌های آذربایجان غربی، شرقی و اردبیل
- مدیریت راه‌اندازی از دو واحد توربین بادی ۱۳۰ کیلو وات در منطقه دیزباد استان خراسان

۱-۴-۲- توربین‌های آبی کوچک

زمان آغاز بهره‌برداری از انرژی آبی در جهان به طور دقیق مشخص نیست ولی آنچه مسلم است اینکه بشر از دو هزار سال قبل تا کنون از این منبع انرژی استفاده می‌کرد. بهره‌برداری مؤثر از منابع آب با هدف استفاده از انرژی آن از گذشته‌های دور مورد توجه ایرانیان بوده و شاید بتوان ایران را در بکارگیری انرژی آبی از جمله ملت‌های پیشرو در این زمینه قلمداد نمود. در بسیاری از سازه‌های آبی باستانی کشور که بین ۱۳۰۰ تا ۱۷۰۰ سال قدمت دارند، علاوه بر استحصال و تنظیم آب، استفاده از انرژی آب به صورت آسیابها و چرخهای آبی صورت می‌گرفته، که از این میان می‌توان به آب‌بند "میزان" و "پل بند" شوشتر اشاره کرد. [۵][۵]

برای تولید برق روشهای متعارفی در دنیا وجود دارد که یکی از آنها تولید برق با استفاده از پتانسیل آب ذخیره شده در پشت سدها است. عمر طولانی، بهره برداری به نسبت بالاتر، آلوده نکردن محیط زیست، پایین بودن هزینه‌های نگهداری و بهره‌برداری، استفاده چند منظوره از منابع آبی و تجدیدپذیر بودن منابع مصرفی آنها از جمله مزایای استفاده از نیروگاههای آبی می‌باشد. البته لازم به ذکر است که نیروگاههای آبی با توانهای بالا، می‌تواند پاسخگوی نوسانات ایجاد شده در تقاضای برق نیز باشد و مسئولیت کنترل فرکانس شبکه را بر عهده بگیرد، زیرا که در اندک زمانی می‌توان کارکرد این نیروگاه‌ها را از حداقل به حداکثر و بالعکس برسانیم.

در ایران، طرح نیروگاههای آبی کوچک در سال ۱۳۷۵ در شرکت توانیر با شناسایی دوازده پروژه تشکیل گردید و سپس به شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران منتقل گردید. در ابتدای سال ۱۳۸۲ به طرح نیروگاه های آبی متوسط شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران ملحق گردیده و نام طرح به طرح نیروگاههای آبی متوسط و کوچک تغییر یافت. مطالعات نیروگاه های تلمبه ذخیره‌ای که از دستاوردهای مطالعات نیروگاه های جریانی می‌باشد نیز به این طرح ابلاغ گردید.

همانطور که که مشاهده می‌شود با توجه به ظرفیت پروژه های در حال اجراء یا به اتمام رسیده، می‌توان این تولیدات را در گروه تولیدات پراکنده جای داد و به لحاظ مدیریت کلان انرژی در آینده به دید استفاده آنها به عنوان منابع تولید پراکنده در شبکه برق کشور نگریست و از مزایای آن سود جست.

۱-۴-۳- سیستم‌های فتوولتائیک (PV)

انرژی خورشیدی^۱ یکی از انرژیهای تجدیدپذیر و پاک می‌باشد. تجهیزات فتوولتائیک (PV) تشعشعات خورشیدی برخوردی به آن (تابش شده) را مستقیماً به انرژی الکتریکی DC تبدیل می‌نماید. واکنش هسته‌ای انجام شده در خورشید مقدار زیادی انرژی تولید می‌نماید (تقریباً $389 \times 10^{24} \text{ W}$) (که از این انرژی عظیم ارسالی، فقط کسر کوچکی از آن در سطح زمین جذب می‌شود. (بطور متوسط 1370 W/m^2) [۶][۵] سلولهای فتوولتائیک بخش اساسی نیروگاه‌های فتوولتائیک را تشکیل می‌دهند. این سلولها تا زمانیکه در مقابل نور خورشید قرار دارند، مثل یک باتری کوچک تولید برق می‌کنند. با اتصالات سری و موازی سلولها، واحدی به نام ماژول بدست می‌آید. با نصب تعدادی از ماژولهای خورشیدی بر روی یک صفحه نگهدارنده، واحدی بزرگتر با نام آرایه خورشیدی دست می‌آید. توان الکتریکی بدست آمده از آرایه خورشیدی به دلیل تغییر شرایط محیط از لحاظ دما و شدت نور همواره

1- Solar Energy

دارای نوسان است، به همین دلیل به یک تنظیم کننده نیز برای جذب حداکثر توان ممکن نیاز دارند. بطور کلی می توان گفت، که یک واحد تولید کننده برق فتو ولتاییک از اجزای آرایه خورشیدی، تنظیم کننده توان حداکثر، واحد ذخیره سازی انرژی و اینورتر ولتاژ تشکیل می گردد.

یک سلول خورشیدی ترکیبی از لایه های مختلف می باشد. لایه بالایی یک پوشش شیشه ای یا هر محفظه ای که سلول را از شرایط آب و هوایی محافظت می نماید، زیر این لایه محافظ یک لایه ضد انعکاس به منظور جلوگیری از انعکاس نور توسط سلول قرار دارد. خروجی یک سیستم PV به عوامل خارجی نظیر پوشش ابر، موقعیت، مقدار تابش خورشید، درجه حرارت عملکردی و فصل بستگی دارد. از آنجائیکه خروجی هر سلول PV خیلی کوچک می باشد بنابراین ناچاراً تعدادی از سلولها بصورت سری- موازی به یکدیگر متصل شده تا بتوان ولتاژ و توان خروجی مورد نیاز را بدست آورد. یک مبدل الکترونیک قدرت به منظور تبدیل ولتاژ خروجی DC به AC مورد نیاز می باشد. دو نوع اصلی سیستمهای PV از نوع صفحه تخت و تمرکز یافته می باشند. و ساده ترین آنها نیز، سیستمهای صفحه تخت، بصورت ساکن، و با یک شیب ثابت می باشد.

در این حالت به منظور جذب بیشتر انرژی، شیب صفحات را بصورت دوره ای تغییر می دهند. سیستمهای تمرکزی بصورت تمرکز روی یک نقطه و روی یک خط مورد استفاده قرار می گیرند. در سیستم تمرکزی روی یک نقطه، حرکت در دو محور بوده، در حالیکه سیستمهای تمرکزی روی خط در یک محور حرکت می کنند. سیستمهای تمرکزی برای نواحی که در طول سال دارای آسمانی صاف می باشند مناسب و ایده آل می باشند. سیستمهای خورشیدی کوچک (کمتر از ۱۰ KW) را در سقف اماکن مسکونی نصب می نمایند. سیستمهای با سائز متوسط (بین ۱۰ KW الی ۱۰۰ KW) و بزرگ (بالای ۱۰۰ KW) را به شبکه توزیع وصل می نمایند.

این تکنولوژی در مناطقی که برق رسانی به آنها دشوار و یا بسیار هزینه بر بوده است نیز (در ظرفیتهای پایین تر) بکار گرفته می شود. بطوریکه با ذخیره سازی انرژی الکتریکی حاصل از نور خورشید در روز، از آن را در شب و یا در مواقع لزوم ممکن استفاده می شود. در زیر شکل نیز، نمونه هایی از چراغهای خورشیدی (تولید در محل مصرف) که در ایران نصب شده اند، آمده است.



شکل (۱-۲): نمونه‌هایی از چراغ‌های خورشیدی در ایران

۴-۴-۱- انرژی زمین گرمایی

انرژی حرارتی که در پوسته جامد زمین وجود دارد، انرژی زمین گرمایی نامیده می‌شود. مرکز زمین منبع عظیمی از انرژی حرارتی است که به شکل‌های گوناگون از جمله فوران‌های آتشفشانی یا آب‌های گرم وجود دارند. طبق فرضیه‌های موجود، زمین توده‌ای آتشین بوده که بیش از ۴ میلیارد سال پیش شکل گرفته و به تدریج به انجماد و سردی گراییده است و این سرد شدن همچنان ادامه دارد. در حال حاضر از انرژی طبیعی زمین گرمایی که هیچگونه هزینه جاری برای بدست آوردن این انرژی صرف نمی‌شود، در بسیاری از نقاط جهان و به صورت‌های مختلف، در سطح وسیعی استفاده می‌شود. محققین همزمان با بکارگیری تکنولوژیهای قدیمی تأمین انرژی، شیوه‌های جدید تأمین انرژی را به تکامل رسانده‌اند، در آینده نیز تلاش برای توسعه آن در زمینه انتقال تکنولوژی امری اساسی تلقی می‌شود. بهره‌برداری از انرژی زمین گرمایی، به عنوان یک منبع انرژی بالقوه در اعماق زمین، مستقل از شرایط جوی بوده و قابلیت جوابگویی به نیاز کنونی و آتی بشر را داراست.

نواحی که دارای پتانسیل انرژی زمین گرمایی هستند منطبق بر مناطق آتشفشانی و زلزله خیز جهان هستند. نخستین تلاش‌ها برای تولید برق از این انرژی در سال ۱۹۰۴ در ایتالیا صورت گرفت و از آن زمان تا کنون فعالیت‌های زیادی در سراسر دنیا صورت گرفته است.

به طور کلی مناطقی از زمین که دارای سه ویژگی مهم باشند، می‌توانند دارای پتانسیل خوب جهت بهره‌برداری از انرژی زمین گرمایی باشند. این سه ویژگی شامل: داشتن منبع حرارتی، سیال

حد واسط و محیط متخلخل می‌باشد. مواد مذاب یا سنگهای داغ مجاور آنها، به‌عنوان منبع حرارتی باید به گونه‌ای نزدیک سطح زمین قرار گرفته باشند که موجب گرم شدن آبهای نفوذی شده و در نتیجه با حفاری چاه‌های تولیدی می‌توان با استخراج سیال گرم، به حرارت مطلوب رسید. وجود آب برای انتقال حرارت منبع حرارتی به سطح زمین، آبهای جوی، آبهای ماگمایی و فسیل از جمله سیالات انتقال دهنده حرارت در یک سیستم زمین گرمایی هستند. همچنین اگر لایه‌های مختلف زمین دارای خلل و فرج‌های زیادی باشند و آبهای سطحی و نزولات جوی بتوانند به خوبی داخل زمین نفوذ کنند، آبهای سطحی که بر اثر نیروی جاذبه زمین و از طریق خلل و فرجها به داخل آن نفوذ می‌کنند، پس از مدتی به لایه‌های گرم زمین نزدیک می‌شوند و حرارت آنها را جذب می‌کنند. این آب در اثر افزایش دما، چگالی خود را از دست داده و نسبت به آبهای سرد سبکتر شده و به صورت طبیعی از طریق خلل و فرج مجدداً رو به سطح زمین حرکت می‌کند و موجب پیدایش نشانه‌های حرارتی مانند چشمه‌های آب گرم در نقاط مختلف زمین می‌شود. در حالت طبیعی سیال گرم از خلال درزها، شکافها و گسلها به سطح زمین می‌رسد و نشانه‌های سطحی ایجاد می‌کند، اما برای بهره‌برداری اقتصادی از یک سیستم زمین گرمایی با حفاری چاه‌های متعدد، سیال بیشتری استحصال می‌شود.

بهره‌برداری از انرژیهای زمین‌گرمایی به دو روش استفاده نیروگاهی و غیر نیروگاهی ممکن می‌باشد. از موارد استفاده غیر نیروگاهی آن می‌توان به مواردی چون گرمایش منزل، مراکز گلخانه‌ای، حوضچه‌های پرورش ماهی، بهره‌برداری به عنوان پمپ حرارتی، ذوب برف و پیشگیری از یخبندان در معابر اشاره کرد. و فرآیند تولید برق در نیروگاه زمین گرمایی به دو دسته نیروگاه زمین گرمایی با سیال دو فاز و تک فاز تقسیم می‌شود.

در نیروگاه‌های زمین‌گرمایی با سیال دو فاز، سیالی که معمولاً به شکل دو فاز مایع و بخار می‌باشد از چاه‌های زمین‌گرمایی خارج می‌شود که هر چه تعداد این چاه‌ها بیشتر باشد میزان مایع و بخار خارج شده از چاه‌ها و متناسب با آن میزان تولید برق نیز بیشتر می‌شود. این سیال در مخزن جدا کننده بخار از مایع جمع آوری شده و در این مخزن فاز بخار از مایع جدا می‌شود. بخار جدا شده وارد توربین می‌شود و باعث چرخش پره‌های توربین می‌شود. پره‌ها نیز به نوبه خود محور توربین و محور ژنراتور را به حرکت وا می‌دارند، در نتیجه برق تولید می‌شود. در نیروگاه زمین گرمایی با سیال تک فاز نیاز به مخزن جدا کننده نمی‌باشد زیرا آب گرم وارد مبدل حرارتی شده و حرارت خود را به سیال عامل دیگری، مثل ایزوبوتان یا ایزوپتان که نقطه جوش پایین‌تری نسبت به آب دارد منتقل می‌کند. و این بخار ایجاد شده پره‌های توربین و محور ژنراتور را برای تولید برق می‌گرداند. جهت بالا بردن

راندمان نیروگاه و تولید برق بیشتر می‌توان این دو نوع نیروگاه را به صورت موازی و یا سری ترکیب نمود و یا با استفاده از مبدل‌های حرارتی جهت عملیات پیش گرمایش، راندمان را بالا برد. کشورهای که بیشترین میزان برق را از با استفاده از نصب نیروگاه‌های زمین گرمایی تولید می‌کنند در جدول (۱-۱) زیر آورده شده‌اند.

جدول (۱-۱): عمده‌ترین استفاده کنندگان از انرژی زمین گرمایی در جهان (برحسب مگاوات)

آمریکا	فیلیپین	ایتالیا	مکزیک	اندونزی	ژاپن	نیوزیلند	ایسلند
۲۲۰۰	۱۹۰۰	۷۸۵	۷۵۵	۵۹۰	۵۴۷	۴۳۷	۱۷۰

در کشور ما نیز با توجه به قرار داشتن در مناطقی از زمین که دارای پتانسیل زمین گرمایی هستند ضرورت استفاده از آن مهم به نظر می‌رسد. از جنبه دیگر اغلب این تولیدات در کشور ما در محدود مطالعاتی تولید پراکنده می‌باشند و استفاده از آنها در شبکه برق سراسری باید با بررسی آنها چه از حیث مکان‌یابی، با در نظر گرفتن تابع هدف مناسب و چه از حیث تأثیرات حضور این قبیل تولیدات در شبکه، پرداخته شود.

از جمله مهمترین پروژه‌های زمین گرمایی در کشور، طرح نیروگاه زمین گرمایی مشکین شهر می‌باشد. اطلاعات حاصل از ۱۰۰۰۰ متر حفاری‌های اکتشافی، مقدمات لازم را جهت انجام ارزیابی پتانسیل منبع زمین گرمایی و همچنین مطالعات امکان سنجی نصب نیروگاه زمین گرمایی در منطقه فراهم نموده که هم‌اکنون نیز در حال انجام است. طبق نتایج کسب شده، تاکنون وجود مخزن زمین گرمایی با دمای ۲۴۵ درجه سانتیگراد و وسعت ۵ کیلومتر مربع به اثبات رسیده‌است که جواب‌گوی نصب نیروگاه با ظرفیت ۶۰ مگاوات در این منطقه خواهد بود. مطالعات اکتشافی سطح الارضی نشان می‌دهد که خارج از محدوده شناخته شده فعلی که توسط حفاری‌های اکتشافی نیز اثبات شده‌است، پتانسیل منبع زمین گرمایی در این ناحیه فراتر از حد شناخته شده فعلی بوده و توان توسعه و نصب نیروگاه زمین گرمایی تا ۲۰۰ مگاوات دیگر نیز در این منطقه وجود دارد. به عبارت دیگر پتانسیل موجود در مجموع ۲۶۰ مگاوات تخمین زده می‌شود. حفاری‌های عمیق اکتشافی سبلان جهت استفاده از انرژی زمین گرمایی، برای اولین بار در خاورمیانه انجام شده است و با کسب نتایج مثبت که در این مرحله بدست آمده، ایران نیز توانایی قرار گرفتن در ردیف ۲۲ کشور جهان که به تولید برق از انرژی زمین گرمایی پرداخته‌اند را یافته است. علاوه بر تلاش در جهت تولید برق از انرژی زمین

گرمایی، وزارت نیرو توجه به توسعه کاربردهای غیر نیروگاهی از این منبع انرژی را در این منطقه دارد که از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- تأمین گرمایش ساختمان های مسکونی روستای مجاور سایت نیروگاه
- احداث گلخانه کشاورزی جهت پرورش محصولات کشاورزی و گلخانه‌ای
- احداث حوضچه‌های پرورش ماهی
- احداث هتل و مجموعه تفریحی، با امکانات طبیعی برای جذب توریست، طبق استانداردهای روز جهان

۱-۴-۵- سیستم‌های زیست توده

یکی از مناسب ترین منابع انرژی برای حفظ محیط زیست زیست توده است، که علاوه بر تجدید پذیر بودن، به پاکیزگی و سلامت محیط زیست نیز کمک می‌کند. چون برای تولید انرژی بیش از اینکه آلودگی تولید کند از آلودگیهای محیط زیست می‌کاهد.

تکنولوژی زیست توده به عنوان یک منبع انرژی، در اشکال مختلف و به روشهای گوناگون قابل استفاده و در دسترس می‌باشد. زیست توده نتیجه جمع‌آوری، تبدیل و ذخیره‌سازی انرژی خورشید توسط گیاهان و دیگر اغلام مازاد باقیمانده از طبیعت می‌باشد. بازده این فرآیند پایین می‌باشد، ولی بدلیل رایگان بودن مواد اولیه مصرفی (سوخت) آنها، و مزایای جانبی دیگری که ایجاد می‌کند، کاربرد روز افزونی یافته است. و امروزه برای افزایش راندمان و ایجاد پیشرفت در این تکنولوژی، تلاشهای بسیاری صورت می‌پذیرد.

میزان حرارت به ازاء واحد وزن نوعی چوب بادوام تقریباً ۵۸٪ مقدار زغال سنگ می‌باشد. به هر حال در مقایسه با زغال سنگ با وزن یکسان دارای ۶۳٪ کربن بوده که آن را از دی‌اکسید کربن موجود در هوا بدست می‌آورد. به منظور تبدیل زیست توده به حرارت در نیروگاههای حرارتی تکنولوژیهای مختلفی توسعه یافته‌اند. راندمان این تکنولوژیها بطور نمونه بین ۳۶٪ الی ۴۷٪ تغییر می‌نماید.

و در گونه دیگری از این نوع تکنولوژی می‌توان با اعمال مجموعه‌ای متنوع از فرآیندهای فیزیکی، شیمیایی و زیست محیطی بر روی منابع مختلف زیست توده مانند تجزیه، تخمیر و غیره در یک محفظه، گازی بدست می‌آید که اصطلاحاً بیوگاز^۱ نام دارد. پس از اعمال یک سری فرایندهای تصفیه‌ای بر روی این گاز می‌توان آن را به عنوان یک حامل انرژی در نظر گرفت. این حامل انرژی را می‌توان به عنوان سوخت اولیه در نیروگاه‌ها نیز به کار برد. با سوخت این گاز ژنراتورها و توربینها

1-Biogas

حرکت کرده و مشابه سیکل سنتی رایج در تمام نیروگاه‌های موجود، برق تولید می‌کند، با این تفاوت که این بار نه تنها سوخت مورد نیاز بویلر از دل زمین بیرون کشیده نشده، بلکه با کاربرد بهینه از آلودگی محیط زیست انسانی نیز جلوگیری به عمل آمده است. با به کار بردن مستقیم این گاز می‌توان طیف وسیعی از صنایع و سیستم‌های موجود را راه‌اندازی کرد. که بطور نمونه، از تکنولوژی بیوگاز در موتورهای احتراق داخلی و نیز با تبدیل آن به هیدروژن در پیل‌های سوختی استفاده می‌شود

۱-۴-۶- میکروتوربین

تاریخچه تولید میکروتوربین تجاری در آمریکا به سال ۱۹۹۸ میلادی بر می‌گردد، که الیوت^۱ و کپستون^۲ میکروتوربین‌های خود را وارد بازار کردند. از سازندگان اصلی میکروتوربین در حال حاضر می‌توان کپستون در آمریکا و بومن^۳ در انگلستان را نام برد. میکروتوربین‌ها در حقیقت بسط یافته تکنولوژی توربین گازی در ابعاد و ظرفیتهای کوچکتر هستند. البته به جز اندازه، موارد طراحی معین دیگری نیز این تکنولوژی را از دیگر انواع توربین‌های احتراقی متمایز می‌کند. و می‌توانند با سوخت‌های گاز طبیعی، گاز پروپان و نفت عمل کنند. از مشخصه‌های برجسته اکثر میکروتوربین‌ها سرعت گردش بسیار بالا و مهندسی هوشمند در طراحی می‌باشد. مزایای اصلی میکروتوربین‌ها آلودگی صوتی کم، ابعاد کوچک، تعداد کم بخش‌های متحرک، فاصله زمانی طولانی بین دو تعمیر متوالی، قابلیت انعطاف در سوخت مصرفی و قابلیت استفاده از سوخت‌های زائد و بی‌مصرف می‌باشد.

در شکل ساده‌این توربین‌ها شامل یک کمپرسور، محفظه احتراق، جبران کننده توربین کوچک و ژنراتور و گاهی نیز دارای یک شفت متحرک می‌باشند. و از هوا یا روغن استفاده می‌کنند.

1 - Elliott

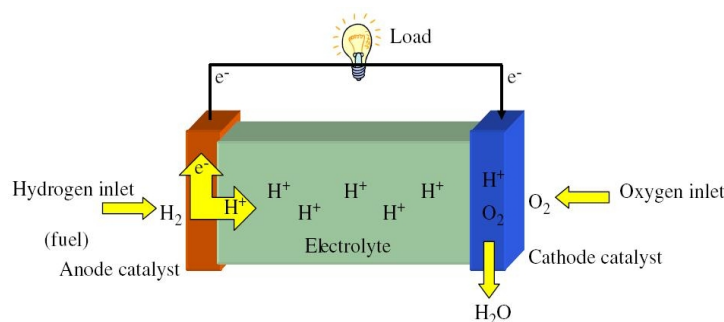
2 - Capstone

3 - Bowman

به دلیل همین مزایایی که در بالا گفته شد، امروزه در بین منابع تولید پراکنده تجدیدناپذیر، میکروتوربین‌ها بیشترین کاربرد را دارا می‌باشند

۱-۴-۷- پیل‌های سوختی

سلول سوختی یک وسیله تبدیل انرژی است که انرژی آزاد شده به صورت گرما و الکتریسته را می‌توان به عنوان منبع قدرت بکاربرد. با وارد شدن هیدروژن به پروتون و الکترون تبدیل می‌شود. پروتون‌ها یا همان یون‌های هیدروژن از غشا یا الکترولیت عبور می‌کنند و بنابراین از یک مدار خارجی می‌گذرند. مدار خارجی شامل یک بار الکتریکی مانند یک موتور یا لامپ روشنایی یا چیزهایی از این قبیل است و سپس به الکتروود کاتالیزوری می‌رسد، جایی که پروتون‌ها و الکترون‌ها دوباره با هم ترکیب می‌شوند و با اتصال به اکسیژن تولید مولکول آب می‌کنند. میزان ظرفیت توان تولیدی توسط واحدهای پیل سوختی از ۱ KW تا ۵ MW می‌باشد.



شکل (۴-۱): طرز عملکرد پیل هیدروژنی

انواع سلول‌های سوختی بر اساس ماده الکترولیت آن‌ها تقسیم‌بندی می‌گردند، که برخی از آن‌ها عبارتند از:

- پیل‌های سوختی پلیمری^۱ (PEMFC)
- پیل‌های سوختی قلیایی یا آلکالاینی^۲ (AFC)
- پیل‌های سوختی اسید فسفریک^۳ (PAFC)
- پیل‌های سوختی کربنات مذاب^۴ (MCFC)
- پیل‌های سوختی اکسید جامد^۵ (SOFC)

1-Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell

2-Alkaline Fuel Cell

3-Phosphoric Acid Fuel Cell

4-Molten Carbonate Fuel Cell

5-Solid Oxide Fuel Cell Fuel Cell

- پیل‌های سوختی متانولی^۱ (DMFC)

از معایب سلول سوختی زمان استارت بالا (در حدود ۱ الی ۴ ساعت برای نوع PAFC می‌باشد، که برای مقاصدی همچون تأمین ظرفیت رزرو چندان مناسب به نظر نمی‌رسد.

۵-۱ پتانسیل منابع تولید پراکنده در ایران

جدول زیر پتانسیل‌های بالقوه موجود در کشور را برای تعدادی از منابع تولید پراکنده نشان می‌دهد.

جدول (۲-۱): پتانسیل‌های موجود در کشور [۷]

پتانسیل موجود		منابع
۲۰۰۰ کیلو وات ساعت بر متر مربع در سال		انرژی خورشید
۶۵۰۰ مگاوات		انرژی باد
۳۳۰۵۲ گیگاوات ساعت الکتریکی	۲۲۰۰ مگاوات حرارتی	انرژی بیوماس
۲۴۰۰ مگاوات		زمین گرمایی
۴۲۰۰ مگاوات		برق آبی کوچک
قابل توجه نیست		انرژی جزرومد

لازم به ذکر است که مطالعات پتانسیل سنجی برای سایر انواع منابع تولید پراکنده در ایران انجام نشده است.

در ایران به دلیل عدم وجود دستورالعمل مشخص در زمینه چگونگی اتصال تولیدات پراکنده به شبکه و همچنین خرید و فروش انرژی آنها موانعی بر سر راه توسعه منابع فوق وجود دارد. به عبارت دیگر تنظیم دستورالعمل‌های مشخص، می‌تواند باعث تشویق صاحبان منابع فوق به تعامل با زمینه اتصال و چگونگی خرید انرژی از منابع تولید پراکنده می‌تواند باعث تشویق صاحبان منابع فوق به تعامل با شرکت‌های برق گردد.

1- Direct Methanol Fuel Cell

فصل ۲. معرفی سیستم حفاظت شبکه‌های توزیع

نکته‌ای که از دیدگاه مصرف کننده بسیار اهمیت دارد این است که تولید و انتقال انرژی الکتریکی به صورت دائمی و بدون وقفه باشد. از طرفی، شبکه قدرت که شامل ژنراتورها، ترانسفورماتورهای قدرت، خطوط انتقال، خطوط توزیع و سایر تجهیزات می‌باشد، در معرض وقوع خطا است که این خطاها در کارکرد عادی شبکه اختلال ایجاد می‌کنند. این خطاها به طور عمده شامل اتصال کوتاه‌های بین فاز و زمین، پارگی خطوط انتقال یا توزیع و یا کاهش قدرت عایقی مقره‌ها و غیره هستند. در چنین شرایطی یک سیستم نظارت و کنترل مورد نیاز خواهد بود تا هر بخش از شبکه را که در آن خطا رخ داده‌است، تشخیص داده و در سریعترین زمان ممکن، از سایر بخش‌های سالم شبکه جدا نماید، زیرا تا هنگامی که خطا از شبکه رفع نشده‌باشد کل شبکه به خاطر تأثیرات ناشی از وقوع خطا در معرض خطر است. چنین سیستم نظارت و کنترلی در واقع یک سیستم حفاظت محسوب می‌شود که در یک سیستم حفاظتی مجموعه‌ای از رله‌ها و کلیدهای قدرت کار می‌کنند.

برای یک شبکه قدرت ممکن است سیستم‌های حفاظتی مختلفی مطرح شوند که به منظور مقایسه و ارزیابی این سیستم‌ها با یکدیگر بایستی خصوصیات و معیارهای یک سیستم حفاظتی مناسب را در نظر گرفت و سپس سیستم‌های حفاظتی مختلف را بر طبق این معیارها با یکدیگر مقایسه و ارزیابی کرد و بهترین آنها را انتخاب نمود. از مهمترین معیارها می‌توان به سرعت عمل سیستم حفاظتی، قابلیت اطمینان^۱، قابلیت انتخاب^۲، حساسیت^۳ و اقتصادی بودن سیستم حفاظتی اشاره نمود.

در سیستم‌های حفاظتی، رله‌های حفاظتی مهمترین نقش را ایفا می‌کنند. رله حفاظتی عنصری است که با توجه به مقادیر پارامترهای شبکه همچون جریان، ولتاژ یا فرکانس شبکه وضعیت عادی را از غیرعادی تشخیص داده و در صورت غیرعادی بودن وضعیت به کلیدهای قدرت فرمان می‌دهد تا عناصری را که در معرض خطا یا عملکرد نامطلوب قرار گرفته‌اند، جدا کند. هر رله علاوه بر حفاظت از محدوده اصلی‌اش، می‌تواند به عنوان پشتیبان برای محدوده‌ای غیر از محدوده خود نیز باشد و در صورتی که رله اصلی عمل ننماید رله پشتیبان عمل کرده و خطا را رفع می‌کند. بنابراین مفهوم حفاظت اصلی و پشتیبان و نحوه هماهنگی بین آنها مطرح می‌شود که در ادامه به تشریح آن پرداخته می‌شود.

1- Reliability

2 - Selectivity

3 - Sensivity

۲-۲ حفاظت شبکه‌های توزیع

بسته به توپولوژی شبکه توزیع، طرح‌های حفاظتی گوناگونی مورد استفاده قرار می‌گیرند. ساده‌ترین ساختار شبکه جهت حفاظت، سیستم‌های شعاعی است که دارای مکانیزم حفاظتی ساده‌ای می‌باشند. حفاظت سیستم‌های توزیع تا حدود زیادی با دیگر بخش‌های سیستم قدرت متفاوت است. بر خلاف سیستم‌های انتقال و فوق توزیع، سیستم‌های توزیع شعاعی‌اند، که از یک منبع تغذیه از سوی شبکه سراسری تغذیه می‌شوند. برای حفاظت شبکه توزیع تنها از فیوزها، رله‌های جریان زیاد، ریکلوزرها، سکسیونرها و کلیدها استفاده می‌شود.

۳-۲ هدف از حفاظت شبکه‌های قدرت و توزیع

اگر در یکی از اجزای شبکه خطایی رخ دهد، یک دستگاه حفاظتی خودکار برای جدا کردن جزء تحت خطا با حداکثر سرعت ممکن به منظور حفظ بخش‌های سالم شبکه در بهره برداری عادی مورد نیاز خواهد بود. خطا باید در کسری از ثانیه برطرف شود. اگر اتصال کوتاه روی شبکه به مدت طولانی تر بماند، ممکن است به بخش‌های مهم آن آسیب وارد نماید. جریان اتصال کوتاه شدید می‌تواند موجب آتش سوزی گردیده و در شبکه گسترش یابد و سبب خسارت بخش‌هایی از آن گردد. بنابراین یک اتصال کوتاه سنگین که به موقع برطرف نگردد می‌تواند سبب اشکال در کل شبکه شود. یک طرح حفاظتی شامل کلیدهای قدرت و رله‌های حفاظتی برای جدا کردن بخش تحت خطای شبکه از بخش‌های سالم می‌باشد. کلید قدرت قادر است بخش تحت خطا را در صورت دریافت دستور از رله حفاظتی از بقیه بخش‌ها جدا نماید. وظیفه رله حفاظتی آشکارسازی و تعیین محل خطا بوده و پس از آن صدور فرمان قطع به کلید قدرت برای جدا کردن بخش تحت خطا است. رله حفاظتی دستگاهی است که شرایط غیر عادی در شبکه را با نظارت مداوم کمیات الکتریکی احساس می‌کند. کمیات الکتریکی در شرایط عادی و غیر عادی با یکدیگر تفاوت دارند. کمیات الکتریکی اصلی که در هنگام شرایط غیر عادی تغییر می‌نمایند عبارتند از: جریان، ولتاژ، زاویه فاز (جهت) و فرکانس. رله‌های حفاظتی از یک یا چند کمیت برای آشکار نمودن شرایط غیر عادی در شبکه استفاده می‌کنند.

حفاظت نه تنهای در مقابل اتصال کوتاه مورد نیاز بوده بلکه در قبال سایر شرایط غیر عادی دیگر که امکان بروز دارند نیز ضرورت دارد. مثالهایی از شرایط غیر عادی موتورها، ولتاژ زیاد، فرکانس کم، قطع تحریک، گرمایش استاتورها و رتور ماشین و نظایر آن هستند. رله‌های حفاظتی برای آشکار کردن اینگونه شرایط غیر عادی و اعلام خبر و یا قطع کلید نیز بکار می‌روند. وظیفه رله حفاظتی

پیشگیری و ممانعت از بروز خطا نبوده، بلکه وظیفه خود را تنها پس از بروز خطا ایفا می کند. هزینه تجهیزات حفاظتی معمولاً حدود ۵٪ قیمت کل شبکه می باشد. [۸]

۲-۳-۱- علل بروز خطا

علل بروز خطا در شبکه را به صورت ذیل می توان بیان کرد:

الف) عایق سالم در تجهیزات در معرض اضافه ولتاژهای گذرا با زمان کوتاه و یا ضربه های ناشی از کلیدزنی و صاعقه، به صورت مستقیم و یا غیرمستقیم قرار می گیرد. این موضوع سبب آسیب ایزولاسیون شده و منجر به عبور جریان اتصال کوتاه می شود. جریان اتصال کوتاه می تواند بسیار بیشتر از جریان نامی بوده و حتی در بعضی موارد تا ۳۰ برابر آن نیز برسد. جریان اتصال کوتاه برای خطاهای دیگر مانند فاز به فاز، دو فاز به زمین و سه فاز با زمین باید از محاسبات اتصال کوتاه بدست آید. شایان ذکر است که جریان اتصال کوتاه سه فاز شدیدتر از دو فاز به زمین و به ترتیب دو فاز و نهایتاً تک فاز می باشد.

ب) علت دیگر خطا پیر شدن عایق بوده که سبب شکست الکتریکی حتی در ولتاژ عادی می گردد.
ج) علت سوم بروز خطا اجسام خارجی نظیر شاخه درختان، پرندگان و نظایر آن بوده که سبب اتصالی دو هادی با یکدیگر و یا یک هادی با زمین می شود.

۲-۳-۲- انواع خطاها

در شبکه های سه فاز ماهیت و نوع خطاها معمولاً به صورت زیر طبقه بندی می شوند:

الف) خطاهای فاز و زمین (ب) خطاهای دایمی (ج) خطاهای گذرا و (د) خطاهای نیمه گذرا
خطاهایی که در برگیرنده بیش از یک فاز بوده ولو به زمین ارتباط داشته یا نداشته باشند به عنوان خطاهای فاز تلقی می شوند. خطاهایی که شامل هر یک از فازها با زمین باشند به عنوان خطای زمین منظور می گردند. بنابراین یک شبکه در معرض مجموعاً ده نوع خطا خواهد بود. شایان ذکر است خطای دو فاز با زمین به عنوان یک خطای فاز به جای خطای زمین محسوب می گردد. برای هر یک از حالات فاز به زمین، دو فاز با یکدیگر و دو فاز با زمین سه ترکیب متفاوت وجود داشته که با حالت اتصالی سه فاز مجموعاً ده ترکیب خواهد شد.

خطاهای دائمی بر اثر شکستن و یا سوراخ شدن مقره ها، پاره شدن هادیها، سقوط اجسام روی هادیها رخ می دهند. این گونه خطاهای به وسیله رله ها آشکار شده و کلید قدرت را باز میکنند. خطاهای گذرا دارای دوره کوتاهی بوده و بر اثر اضافه ولتاژهای گذرا ایجاد می شوند. این خطاها بر اثر

جرقه روی مقره ها ناشی از اضافه ولتاژهای گذرای غیر عادی به وجود می آیند و سیستم حفاظتی آنها را تشخیص داده و با قطع کلید قدرت بر طرف می سازد. بعد از مدت زمانی مسیر خطا غیر یونیزه شده و با وصل خودکار کلید قدرت شبکه به حالت عادی باز می گردد.

خطاهای نیمه گذرا بر اثر اجسام خارجی نظیر شاخه درختان و یا جوندگان رخ می دهند. در خطوط فشار متوسط وصل مجدد خودکار کلید قدرت در چند مرحله سبب سوختن جسم خارجی شده و لذا خطا برطرف می گردد. چنین وصل مجددی با مرحله عمدتاً در خطوط فشار متوسط به کار می روند. زیرا سطوح خطا کم می باشند.

۲-۳-۳- آمار خطاها

همان گونه که اشاره شد، شبکه های قدرت در معرض خطاهای دائمی و گذرا هستند. اغلب خطاهای تک فاز گذرا می باشند. برای افزایش قابلیت اطمینان و غلبه بر این نوع خطاها می توان از وصل مجدد خودکار در یک مرحله استفاده کرد. اگر در وصل مجدد خودکار کلید قدرت، خطا از نوع دائمی بوده و ماندگار باشد، عملکرد صورت گرفته موفقیت آمیز نبوده و کلید قدرت در موقعیت باز باقی می ماند. در این حالت جابجایی قابل توجهی در بار خطوط رخ خواهد داد. بنابراین انتخاب سیستم وصل مجدد خودکار بستگی به آمار رخداد خطاها به طور طبیعی دارد.

در واقع اگر اغلب خطاها ماهیت گذرا داشته باشند آنگاه استقرار سیستم وصل مجدد خودکار یک ضرورت بوده و عملکرد آن موفقیت آمیز خواهد بود. هیچ طرح حفاظتی به خودی خود قادر به تشخیص خطای گذرا از دائمی نمی باشد. بطور آماری ۸۰٪ خطاها گذرا و ۲۰٪ آنها دائمی هستند. بنابراین وصل مجدد کلیدها همواره صرف نظر از نوع خطا قابل بکارگیری است. در خطاهای گذرا عملکرد آن موفقیت آمیز بوده و قابلیت اطمینان فراهم می شود و در خطاهای دائمی ناموفق بوده و سبب قطع بخشی از تغذیه الکتریکی می گردد. [۸]

۲-۴ هدف و ویژگی رله ها و دیگر تجهیزات حفاظت جریان زیاد

مهمترین خطا در شبکه ها اتصال کوتاه می باشد. خطا منجر به شرایط غیر عادی گوناگونی نظیر تغییر در جریان، ولتاژ، فرکانس، زاویه فاز، جهت توان و نظایر آن می گردد. اکثر رله به وسیله ولتاژ یا جریان و یا هر دو از طریق ترانسفورماتورهای ولتاژ و جریان تغذیه می شوند. هدف ترانسفورماتورهای جریان (CT) و ترانسفورماتورهای ولتاژ (PT) کاهش سطوح ولتاژ و جریان قابل استفاده برای رله ها و نیز جدا کردن رله ها از ولتاژهای بالا است. وظیفه اصلی رله را به این ترتیب می توان بیان کرد. رله

بخشی از شبکه بهم پیوسته را که تحت خطا واقع شده تشخیص داده و به کمک ریکلوزر آن را از قسمت‌های سالم با حداکثر سرعت ممکن جهت جلوگیری از خسارت و حفظ ایمنی و اطمینان تغذیه به ما بقی شبکه جدا می‌سازد. شایان ذکر است که رله‌ها همراه با ریکلوزر نقش خود را ایفا می‌نمایند. اگر از فیوز برای حفاظت استفاده شود. آنگاه تشخیص خطا و قطع جریان همزمان صورت می‌گیرد. کیفیت سیستم‌های حفاظتی بستگی به حساسیت، قدرت انتخاب‌گری، سرعت و قابلیت اطمینان دارد [۸]. در ادامه این تجهیزات معرفی می‌گردند:

۲-۴-۱- فیوزها

فیوز یکی از پرکاربردترین المان‌های حفاظتی در شبکه است که در ابتدای فیدرهای فرعی و برای حفاظت آن‌ها نصب می‌شود. مشخصه هر فیوز عموماً از دو منحنی تشکیل شده‌است، که شامل مینیمم زمان ذوب^۱ و یا آستانه ذوب است زمانی را نشان می‌دهد که بعد از گذشت آن به ازای یک جریان خاص فیوز می‌سوزد و دیگری زمان قطع کامل جریان خطا^۲ است.

فیوز مثل یک رله جریان زیاد عمل می‌کند که فلز درون آن در اثر عبور جریان زیاد گرم شده و سپس ذوب می‌گردد و مدار را قطع می‌کند. مدت زمان عملکرد فیوز از زمان شروع عملیات ذوب تا زمان نهایی رفع خطا می‌باشد. تفاوت اصلی فیوزها در مدت زمان دوام جرقه در آن‌ها می‌باشد. منحنی‌های فیوز، دارای مشخصه اضافه جریان زمان معکوس هستند و برای نمایش منحنی‌های آن‌ها از صفحه لگاریتمی استفاده می‌شود. در محدوده هماهنگی^۳ که بین جریان خطای ماکزیمم، و مینیمم تعریف می‌شود، می‌توان با تقریب قابل قبولی این منحنی‌ها را مستقیم در نظر گرفت. معادله‌ای که می‌تواند منحنی فیوز را در محورهای لگاریتمی بیان کند بصورت زیر است: [۹]، [۱۲]

$$\log(t) = a \cdot \log(I) + b \quad (2-1)$$

که I و t جریان و زمان را نشان می‌دهند و ثابت‌های a و b برای مشخص نمودن نوع منحنی بکار می‌روند.

1- Minimum Melting
2- Total Clearing
3- Range Coordination

۲-۴-۲- رله‌های اضافه جریان و ریکلوزرها

کلیدها و ریکلوزها برای قطع مدار در ابتدا و وسط فیدر اصلی قرار می‌گیرند و عموماً به رله‌های اضافه جریان با منحنی مشخصه‌های زمان معکوس مجهز می‌باشند. رله جریان زیاد یکی از ساده‌ترین انواع تجهیزات حفاظتی است که اساس عملکرد آن به این صورت است که اگر جریان اندازه‌گیری شده به وسیله رله از مقدار تنظیمی آن بیشتر باشد، رله عمل خواهد کرد. این رله در خطوط توزیع به عنوان حفاظت اصلی و در خطوط انتقال به عنوان حفاظت پشتیبان مورد استفاده قرار می‌گیرد. این رله دارای سه مشخصه است:

رله جریان زیاد آنی^۱: تنظیمات در این حالت بدین صورت است که در صورت بیشتر شدن جریان رله از یک مقدار مشخص، رله به صورت آنی عمل خواهد کرد.
 رله اضافه جریان زمان معلوم^۲: در این حالت در صورت افزایش جریان خطا از جریان تنظیمی، رله در زمان مشخص شده فرمان می‌دهد.
 رله جریان زیاد زمان معکوس^۳: در این حالت با افزایش جریان خطا، زمان عملکرد رله کاهش می‌یابد.

زمان عملکرد این رله‌ها تابعی از مقدار جریان عبوری از رله و تنظیمات آن می‌باشد. این رابطه را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$T = f(TDS, I_p, I) \quad (۲-۲)$$

در این رابطه، T زمان عملکرد رله، TDS تنظیم زمانی رله و I_{Pickup} یا I_p جریان آستانه یا جریان قطع رله می‌باشد. I نیز جریان عبوری از رله می‌باشد. با ساده‌سازی می‌توان رابطه (۲-۲) را به صورت زیر نوشت. این مدل به مدل وارینگتون معروف است:

$$T = TDS \left\{ \frac{A}{(M_i)^{C-1}} + B \right\}, \quad M_i = \frac{I_{fi}}{I_{pi}} \quad (۳-۲)$$

که در آن:

I_{pi} جریان تنظیم شده برای شروع به عمل رله است.

I_{fi} جریان خطای دیده شده توسط رله است.

A : ضریب ثابتی وابسته به نوع رله

B : ضریب ثابتی جهت در نظر گرفتن اثر اصطکاک و هیستریزیس

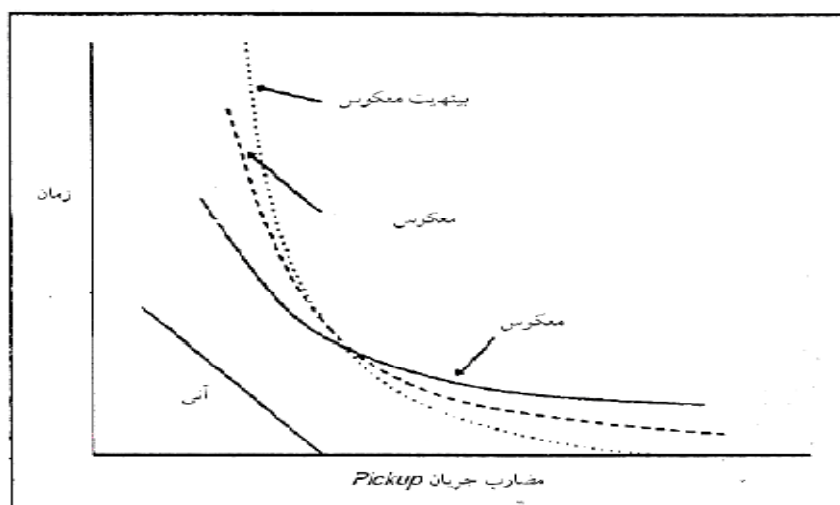
C : ضریب ثابتی وابسته به نوع رله

1- Instantaneous
 2- Definite Time
 3 -Inverse Time

با استفاده از این رابطه می‌توان انواع مشخصه‌های زمان کاهشی رله‌های جریان را بیان کرد. به عنوان نمونه در شکل (۱-۲) منحنی استاندارد IEC255-3 به ازاء مقادیر مختلف TDS رسم شده‌است. جهت بیان هر یک از مشخصه‌های زمان کاهشی لازم است مقدار هر یک از ثابت‌های A، B و C تعیین گردد. در جدول (۱-۲) مقادیر A، B و C برای تعدادی مشخصه‌های استاندارد موجود در استانداردهای IEEE و IEC ارائه شده‌است و مشخصه کارکردی این رله‌ها در شکل (۱-۲) نشان داده شده‌است:

جدول (۱-۲): ثابت‌های مدل وارینگتون برای مشخصه‌های زمان کاهشی در استانداردهای IEEE و IEC [۸]، [۹]

IEEE			IEC			نوع رله
A	B	C	A	B	C	
۰.۰۱۰۴	۰.۰۲۲۶	۰.۲	---	---	---	کاهش ملایم
۵۰۹۵	۰.۱۸	۲	۰.۱۴	۰	۰.۰۲	کاهش استاندارد
۳۸۸	۰.۰۹۶۳	۲	۱۳.۵	۰	۱	خیلی کاهشی
۵۰۶۷	۰.۰۳۲۵	۲	۸۰	۰	۲	به شدت کاهشی
---	---	---	۱۲۰	۰	۱	بلند مدت
۰.۰۰۳۴	۰.۰۰۲۶	۰.۰۲	۰.۰۵	۰	۰.۰۴	کوتاه مدت



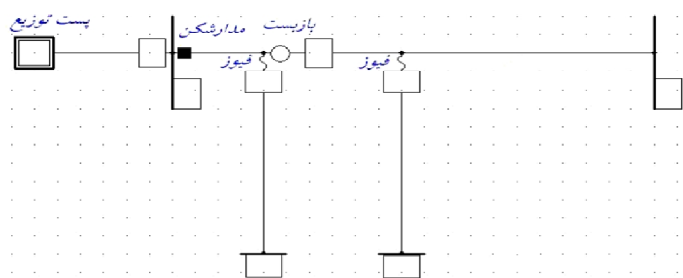
شکل (۱-۲): مشخصه عملکردی رله جریان زیاد [۹]

در برخی از شبکه‌ها شرایطی پیش می‌آید که جریان خطا می‌تواند در دو جهت برقرار شود. به عبارت دیگر جریان خطا از دو طریق تامین گردد در این حالت، به منظور تشخیص مناسب خطا و هماهنگ‌سازی مناسب سیستم حفاظتی، بایستی جهت جریان نیز مشخص گردد. بنابراین از رله‌های اضافه جریان مجهز به واحد تشخیص‌دهنده جهت جریان استفاده می‌شود که به رله‌های اضافه جریان جهت‌دار معروفند. در این رله‌ها جهت تشخیص دادن جهت توان، از سیگنال‌های ولتاژ و جریان استفاده

می‌شود. موارد کاربرد این رله در خطوط از دو سو تغذیه، شبکه‌های رینگ و شبکه‌هایی که از یک خط دو مداره تغذیه می‌شوند، می‌باشد. [۹]، [۱۰]، [۱۲]

۵-۲ فلسفه حاکم بر هماهنگی حفاظتی در شبکه‌های توزیع سنتی

هنگامی که چندین وسیله حفاظتی در یک شبکه به صورت سری استفاده شده باشد در آن صورت هماهنگی بین ادوات حفاظتی ضروری می‌باشد چرا که نباید سیستم حفاظت پشتیبان قبل از حفاظت اصلی عمل کند. هدف این است تا آن جا که امکان دارد سیستم حفاظت اصلی به سرعت عمل کند و یا این که تاخیر زمانی عملکرد حفاظت پشتیبان به اندازه کافی باشد. بنابراین در یک فیدر ساده توزیع سنتی همانند شکل (۲-۲)، فلسفه هماهنگی ادواتی مانند فیوز - فیوز، ریکلوزر و رله - رله بررسی می‌گردد. [۹]، [۱۲]



شکل (۲-۲): نمایش یک فیدر ساده توزیع سنتی

۵-۲-۱ هماهنگی فیوز - فیوز

شکل (۲-۳-الف) دو فیوز را نشان می‌دهد که با هم هماهنگ‌اند که برای هماهنگی بین فیوز اول و دوم به ازاء هر خطا روی فیدر تغذیه بار، فیوز اول باید قبل از فیوز دوم عمل کند. این هماهنگی زمانی به وجود می‌آید که مشخصه حداکثر زمان رفع خطا یا زمان قطع کامل TC^1 ، F_1 پایین‌تر از مشخصه حداقل زمان ذوب MM^2 ، F_2 باشد. شکل (۲-۳-ب) منحنی‌های هماهنگی را نشان می‌دهد. این منحنی‌ها بیان می‌کنند که برای تمامی جریان‌های خطای بین I_{Fmin} و I_{Fmax} هماهنگی وجود دارد. لذا تا زمانی که جریان خطای فیدر در محدوده برقرار باشد، این فیوزها با هم هماهنگ‌اند.

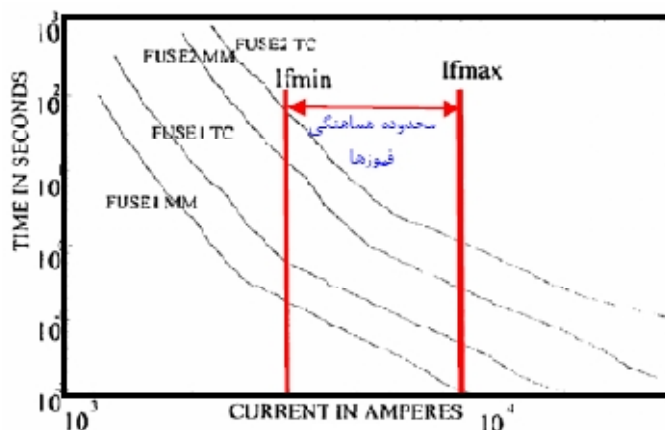
1- Total Clearing

2- Minimum Melting

معیار اصلی استفاده از فیوز آن است که مشخصه TC توسط فیوز اصلی نباید از ۷۵٪ مشخصه MM فیوز پشتیبان تجاوز نماید. همین موضوع تضمین می‌کند که فیوز اصلی قبل از متاثر شدن فیوز پشتیبان به هر طریق قطع نموده و خطا را برطرف می‌نماید. ضریب ۷۵٪ برای جبران اثراتی همچون جریان بار و درجه حرارت محیط، یا شکستگی در المان فیوز بر اثر گرم شدن ناشی از جریان‌های خطایی که از فیوز عبور کرده ولی به قدر کافی برای ذوب آن بزرگ نبوده است بکار می‌رود.



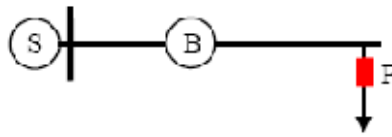
شکل (۲-۳-الف): هماهنگی فیوز - فیوز [۹]، [۱۳]



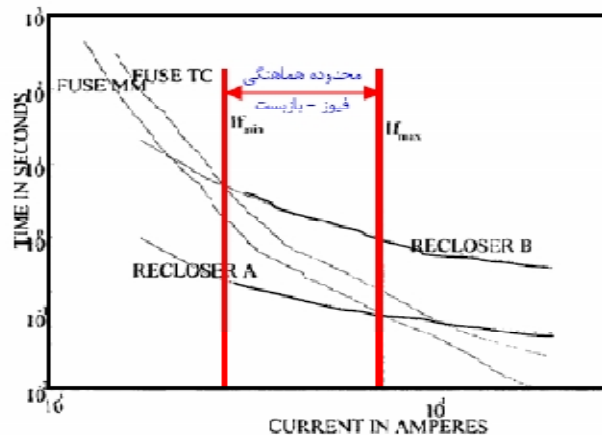
شکل (۲-۳-ب): محدوده هماهنگی فیوز - فیوز [۹]، [۱۳]

۲-۵-۲- هماهنگی ریکلوزر - فیوز

شکل (۲-۴-الف) یک خط توزیع متصل به بار را نشان می‌دهد. فیدر تغذیه بار با یک فیوز حفاظت می‌شود. فلسفه عملکرد در اینجا این است که فیوز فقط به ازای خطاهای ماندگار عمل می‌کند و برای خطاهای گذرا باید ریکلوزر مدار را با عملکرد سریع قطع کند. بدین ترتیب فیدر تغذیه بار به ازای همه خطاهای گذرا قطع نمی‌شود. همچنین لازم به ذکر است که عملکرد مد آهسته ریکلوزر به عنوان حفاظت پشتیبان فیوز است. [۹]، [۱۲] و [۱۳]



شکل (۲-۴-الف): هماهنگی فیوز - ریکلوزر [۹]، [۱۳]



شکل (۲-۴-ب): محدوده هماهنگی فیوز - ریکلوزر [۹]، [۱۳]

نحوه هماهنگی با فرض عدم حضور منابع تولید پراکنده در شکل (۲-۴-ب) نمایش داده شده است. همان گونه که مشاهده می شود، بین I_{Fmax} و I_{Fmin} منحنی عملکرد سریع ریکلوزر زیر منحنی MM فیوز قرار دارد. لذا ریکلوزر در زمان کوتاه تری نسبت به حداقل زمان ذوب فیوز عمل می کند. یک نوع توالی عملکرد ریکلوزر F-F-S-S است که S نشانه عملکرد تاخیری^۱ و F نشانه عملکرد سریع^۲ است. اگر خطا گذرا باشد، قبل از بسته شدن ریکلوزر در دومین عملکرد سریع آن از بین می رود و اگر از بین نرفت خطا دائمی است و در این حالت فیوز باید عمل کند. همچنین در شکل (۲-۴-ب) مشخص است که منحنی TC فیوز در فاصله بین I_{Fmin} و I_{Fmax} پایین تر از منحنی عملکرد کند ریکلوزر قرار دارد. لذا برای خطاهای دائمی فیوز قبل از عملکرد کند ریکلوزر عمل می کند و اگر فیوز عمل نکرد ریکلوزر از آن پشتیبانی کرده و مدار را قطع می کند. همچنین معیار هماهنگی ریکلوزر و فیوز بستگی به محل نصب تجهیزات در سمت بار یا منبع دارد. به عبارت دیگر اگر فیوز در سمت منبع باشد در این حالت تمام عملکردهای ریکلوزر باید از MM سریعتر باشد و اگر فیوز در سمت بار باشد بر اساس قواعد زیر عمل می کند:

MM - باید بزرگتر از منحنی سریع ریکلوزر ضرب در ضریب داده شده باشد.

TC - باید کوچکتر از منحنی تاخیری ریکلوزر بدون هرگونه ضریبی باشد.

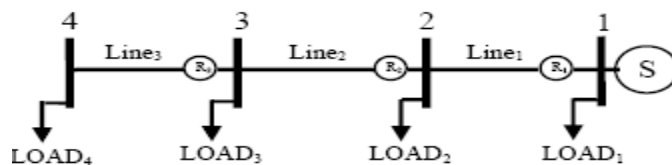
1- Slow
2 - Fast

هماهنگی بهتر بین یک ریکلوزر و چند فیوز از طریق تنظیم ریکلوزر برای دو عملکرد آنی و دو عملکرد تاخیری بعد از آن حاصل می‌شود. بطور کلی اولین باز شدن ریکلوزر ۸۰ درصد خطاهای موقتی را از میان می‌برد و دومین باز شدن ۱۰ درصد خطاها را رفع خواهد کرد. فیوزهای بار به گونه‌ای انتخاب می‌شوند که قبل از سومین باز شدن ریکلوزر عمل کرده و خطاهای دائمی را رفع نمایند.

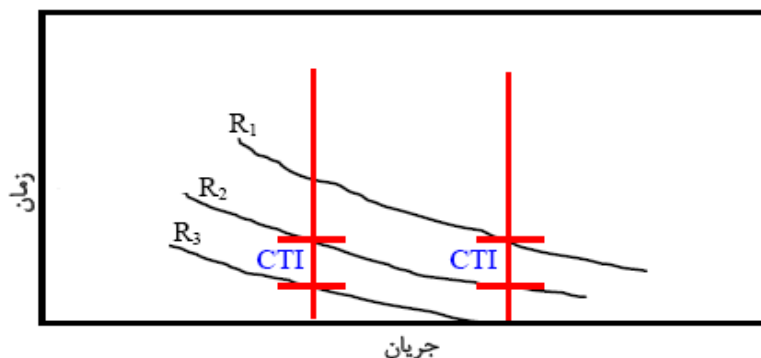
۳-۵-۲- هماهنگی رله-رله

شکل (۲-۵-الف) یک فیدر اصلی توزیع را نشان می‌دهد که از طریق منبع S تغذیه می‌شود و با رله‌های جریان زیاد معکوس R_1 ، R_2 و R_3 حفاظت می‌شود. هماهنگی این رله‌ها در شکل (۲-۵-ب) نشان داده شده‌است در این بخش فلسفه حفاظت این است، که با وقوع خطا در باس (۳) و به ازاء ماکزیمم جریان خطا در این باس، زمان عملکرد رله R_2 حداقل به اندازه یک فاصله زمانی که به CTI^1 معروف است بیشتر از رله R_3 باشد. به طور مشابه رله‌های R_1 و R_2 نیز به ازای ماکزیمم جریان خطا در باس (۲) با هم هماهنگ می‌شوند.

طبیعت منحنی رله جریان زیاد معکوس بدین‌گونه است که اگر به ازاء جریان ماکزیمم با هم هماهنگ باشند به ازاء جریان کمتر نیز با هم هماهنگ خواهند بود. همان‌گونه که در شکل (۲-۵) مشخص است R_1 به عنوان پشتیبان R_2 و R_2 به عنوان پشتیبان R_3 است. [۹]، [۱۲] و [۱۳]



شکل (۲-۵-الف): هماهنگی رله-رله [۸]، [۱۳]



شکل (۲-۵-ب): محدوده هماهنگی رله-رله [۸]، [۱۳]

1 - Coordination Time Interval

همانطور در این فصل اشاره شد، شبکه‌های توزیع سنتی به صورت شعاعی بهره برداری می‌شوند، بنابراین طراحی سیستم حفاظتی این شبکه‌ها چندان پیچیده نیست. اما با توجه به این که در چند سال گذشته توجه زیادی به نصب واحدهای منابع تولید پراکنده در شبکه‌های توزیع شده‌است و حضور این منابع ماهیت شعاعی بودن شبکه توزیع را از بین می‌برد، در نتیجه حضور منابع تولید پراکنده در شبکه‌های توزیع مشکلات زیادی را در طراحی سیستم حفاظت جریان زیاد این شبکه‌ها به وجود می‌آورد. این مسائل در فصل سوم بررسی می‌گردد.

فصل ۳. اثرات منابع تولید پراکنده بر
حفاظت جریان زیاد فیدرهای شعاعی
شبکه‌های توزیع

در سال‌های اخیر، با توجه به کاربردهای متنوع و فواید اتصال نیروگاه‌های تولید پراکنده به شبکه‌های توزیع، توجه زیادی به استفاده واحدها در سطح شبکه‌های توزیع شده‌است. اما این فواید زمانی محقق خواهند شد که تبعات ناشی از ورود این واحدها در سیستم توزیع نیز بطور کامل بررسی و معایب آن مرتفع گردد. یکی از عمده‌ترین معایب، تاثیر مستقیم تولیدات پراکنده بر حفاظت جریان زیاد فیدرهای شعاعی شبکه‌های توزیع می‌باشد به گونه‌ای که در برخی از موارد، طرح‌های حفاظتی در کنار حضور واحدهای منابع تولید پراکنده کارایی خود را از دست می‌دهند. توضیح بعضی از این مسائل و برخی از راه‌حلهایی که تاکنون برای تخفیف اثر آنها ارائه شده‌است در ادامه بررسی می‌گردد. برخی از این مشکلات عبارتند از:

- تریپ اشتباه فیدرها؛
- تریپ اشتباه واحدهای تولیدی
- کور شدن حفاظت
- افزایش و کاهش سطح اتصال کوتاه
- جزیره‌ای شدن ناخواسته
- جلوگیری از ریکلوز اتوماتیک
- ریکلوز غیرسنکرون

همه این عوامل در مجموع سبب می‌شوند تا ضرورت تجزیه و تحلیل تبعات ناشی از ورود منابع تولید پراکنده، بر روی سیستم‌های حفاظتی شبکه توزیع بیشتر احساس گردد. ظهور این مشکلات به مشخصات شبکه و منابع تولید پراکنده بستگی دارد و در اکثر مواقع برای جلوگیری از آن باید حفاظت شبکه به کلی تغییر کند. میزان اثرگذاری منابع تولید پراکنده بر هماهنگی تجهیزات حفاظتی به اندازه، نوع و محل نصب آنها بستگی دارد. بنابراین بسته به اندازه و محل منابع تولید پراکنده محدوده هماهنگی ممکن است حفظ شود و یا از بین برود.

از سویی شبکه‌های توزیع معمولاً بصورت شعاعی‌اند و منبع تغذیه‌ای در سمت بار وجود ندارد. بنابراین وجود ژنراتور در شبکه توزیع روی جهت و اندازه توان جاری در خطوط تاثیر می‌گذارد، که می‌تواند روی پارامترهای عملکردی سیستم، تاثیراتی مثبت یا منفی داشته‌باشد.

۲-۳ تاثیر منابع تولید پراکنده بر حفاظت شبکه

حفاظت‌های معمولی در شبکه‌های توزیع بر اساس این که شبکه‌های توزیع، سیستم‌های شعاعی هستند طرح‌ریزی می‌شوند. اما در صورت اتصال واحدهای تولید پراکنده به سیستم، فیدرها در برخی از نقاط خود دو طرفه می‌شوند و جریان الکتریسته ممکن است در دو جهت از آن‌ها عبور کند. بنابراین دیگر این فیدرها شعاعی نیستند.

سیستم‌های حفاظتی طراحی شده برای شبکه توزیع فشار ضعیف و متوسط معمولاً با استفاده از یک الگوریتم پس‌پس طراحی می‌شوند یعنی هیچ‌گونه تولیدی در شبکه توزیع در نظر گرفته نمی‌شود. با در نظر گرفتن منابع تولید پراکنده، شبکه اکتیو می‌گردد و بنابراین طرح‌های پس‌پس کارایی خود را از دست می‌دهند. این امر باعث می‌شود که برخی از طرح‌های حفاظتی که بر مبنای اندازه‌گیری جریان عمل می‌کردند به هم بخورند. البته در صورتی که میزان تولید منابع تولید پراکنده کمتر از ۱۰٪ کل بار فیدر شبکه توزیع باشد در آن صورت تاثیر منابع تولید پراکنده قابل چشم‌پوشی است. [۱۲]

یکی از موارد مهم در این حالت این است که آیا با تغییر سطح اتصال کوتاه شبکه در حضور منابع تولید پراکنده، ادوات حفاظتی شبکه قادر به عملکرد مناسب هستند یا خیر؟ با حضور این منابع در شبکه‌های توزیع مدار معادل تونن از نقطه خطا تغییر می‌کند. هر واحد تولید پراکنده را در ساده‌ترین حالت می‌توان به صورت یک منبع ولتاژ سری با امپدانس ثابت در نظر گرفت. با اضافه کردن این مدل به مدل شبکه توزیع به راحتی می‌توان دید که به ازاء تمامی خطاها سطح اتصال کوتاه در تمام نقاط شبکه تغییر می‌کند. این تغییر در شرایط مختلف می‌تواند مشکلات مختلفی را برای سیستم حفاظتی ایجاد کند که بطور کلی می‌توان به سه دسته زیر تقسیم بندی کرد که باعث اختلال در عملکرد رله‌های اضافه جریان، اختلال در عملکرد ریکلوزرها و فیوزها و مسائل حفاظت جزیره‌ای می‌شوند [۱۴]:

- افزایش و کاهش جریان خطای دیده شده توسط ادوات حفاظتی،
- ایجاد اختلاف بین جریان فیوز شاخه خطا دیده با ریکلوزر هماهنگ شده با آن،
- تغییر در جهت جریان خطا در برخی از ادوات حفاظتی،

در ادامه این فصل به بررسی سطح اتصال کوتاه شبکه و تغییر آن در حضور تولید پراکنده پرداخته می‌شود. میزان نفوذ واحد و تاثیر آن بر عملکرد رله‌های اضافه جریان موجود در شبکه توزیع، بررسی شده و نشان داده می‌شود که با بزرگ شدن اندازه منابع تولید پراکنده، عملکرد نامناسب رله‌های اضافه جریان غیر قابل اجتناب است مگر اینکه رله‌های موجود تنظیم مجدد شوند و یا این که راه حل‌های مناسب دیگری مورد استفاده قرار گیرند. اگر واحد تولید پراکنده کوچک باشد، مقدار جریان

خطایی که توسط واحد تامین می‌شود بسیار اندک است. اما در صورتی که واحد تولید پراکنده بزرگ باشد و یا تعداد واحدها افزایش یابد در آن صورت افزایش سطح اتصال کوتاه باعث عملکرد نامناسب ادوات حفاظتی می‌گردد. [۱۶]، [۱۷]، [۱۸]

۳-۳ بررسی جریان و قدرت اتصال کوتاه و تاثیر منبع تولید پراکنده بر سطح اتصال کوتاه

سطح اتصال کوتاه به صورت تاثیر خطا بر جریان و توان تعریف می‌شود. این تعریف معیاری جهت مشخص نمودن افزایش جریان و توان سیستم می‌باشد. سطح خطا برحسب پریونیت به صورت زیر تعریف می‌شود.

$$fl = i = \frac{1}{|Z_{th}|} \quad (۱-۳)$$

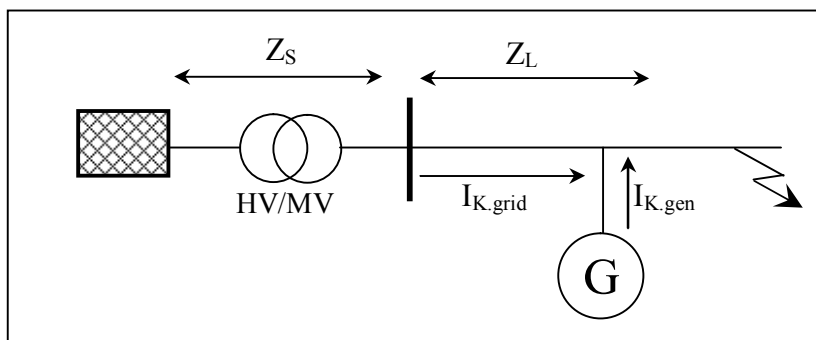
که در این رابطه i جریان خطا می‌باشد و Z_{th} نیز مقدار امپدانس تونن شبکه از دید شین i بر حسب پریونیت می‌باشد. سطح جریان خطا در سیستم توزیع معمولاً در محدوده ۱۰ الی ۱۵ پریونیت قرار دارد که ۱ پریونیت مربوط به جریان نامی شبکه می‌باشد. در مورد خطاهای فاز به فاز و فاز به زمین، مقدار جریان خطا به صورت قابل توجهی از جریان نامی شبکه بیشتر است. این مسئله به عنوان یک شرط پایه‌ای جهت استفاده در طرح‌های حفاظتی اضافه جریان استفاده می‌گردد.

با نصب واحد منابع تولید پراکنده یک امپدانس با قسمتی از شبکه به صورت موازی قرار می‌گیرد. در نتیجه امپدانس دیده شده از محل خطا کوچک شده و سطح جریان افزایش می‌یابد. افزایش ظرفیت واحد منابع تولید پراکنده را می‌توان معادل کوچک شدن امپدانس واحد منابع تولید پراکنده دانست. با افزایش ظرفیت واحد منابع تولید پراکنده، امپدانس معادل واحد منابع تولید پراکنده نیز کوچک شده و در نتیجه سطح اتصال کوتاه شبکه تغییر می‌کند. از آنجا که تنظیمات رله‌های اضافه جریان موجود در شبکه بر حسب جریان اتصال کوتاه دیده شده توسط رله‌ها صورت می‌پذیرد، بنابراین تغییر سطح اتصال کوتاه شبکه باعث تغییر زمان عملکرد رله‌ها و در نتیجه به هم خوردن زمان هماهنگی رله‌ها می‌گردد.

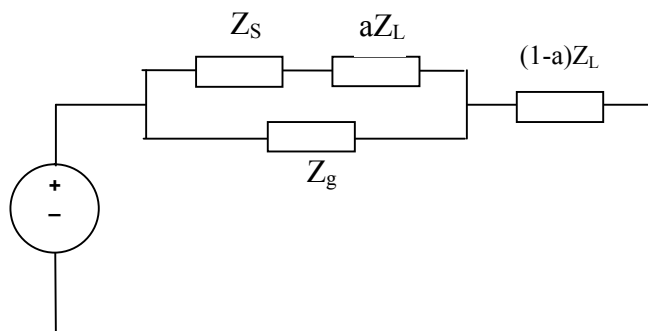
هنگامی که در یک شبکه حاوی منابع تولید پراکنده خطا اتفاق بیافتد، جریان خطا از دو طریق تامین می‌گردد، شبکه سراسری و منابع تولید پراکنده، مقدار مشارکت هر کدام از این دو منبع بستگی به توپولوژی شبکه، امپدانس شبکه و اندازه واحدهای تولید پراکنده دارد [۱۵] و [۱۶]. برای توضیح بیشتر این مطلب و بررسی میزان تاثیر پارامترها در میزان مشارکت واحد تولید پراکنده در تامین

جریان خطا، شکل (۱-۳) در نظر گرفته شده است. مدار معادل تونن این شبکه در شکل (۲-۳) نشان داده شده است [۱۵] و [۱۲]. امپدانس معادل تونن برابر است با:

$$Z_{th} = \frac{(Z_s + aZ_L)Z_g}{Z_s + aZ_L + Z_g} + (1-a)Z_L \quad (۲-۳)$$



شکل (۱-۳): شبکه دارای منبع تولید پراکنده [۱۲]



شکل (۲-۳): مدار معادل شکل (۱-۳) [۱۲]

در معادله (۲-۳)، Z_s امپدانس شبکه فوق توزیع است که مشتمل بر امپدانس ترانس پست توزیع نیز می‌باشد.

Z_g : امپدانس ژنراتور واحد تولید پراکنده

Z_L : امپدانس خط

a : بیانگر درصدی از خط می‌باشد که بین واحد منابع تولید پراکنده و پست قرار دارد.

مقدار جریان اتصال کوتاه کلی در هر فاز توسط رابطه (۳-۳) قابل محاسبه می‌باشد.

$$I_{k,3ph} = \frac{U_{th}}{\sqrt{3} Z_{th}} \quad (۳-۳)$$

جریان خطای تولیدی توسط شبکه سراسری را می‌توان به صورت زیر به دست آورد:

$$I_{\text{grid}} = \frac{Z_g}{Z_s + aZ_1 + Z_g} (I_{k,3\text{ph}}) \quad (4-3)$$

مقدار امپدانس Z_s توسط توان اتصال کوتاه در محل پست قابل محاسبه است (S_K). برای یک شبکه انتقال در حالت ایده آل می توان مقدار S_K را برابر ∞ در نظر گرفت.

$$S_K'' \rightarrow \infty \Rightarrow Z_s \rightarrow 0$$

بنابراین:

$$I_{\text{grid}} = \lim_{Z_s \rightarrow 0} \frac{Z_g}{Z_s + aZ_1 + Z_g} (I_{k,\infty}) = \frac{Z_g}{aZ_1 + Z_g} (I_{k,\infty}) = \frac{1}{\frac{aZ_1}{Z_g} + 1} (I_{k,\infty}) \quad (5-3)$$

به صورت تئوری در حالتی که $S_K'' \rightarrow \infty$ رابطه (5-3) استخراج می گردد که در آن واحد منابع تولید پراکنده و محل نصب آن در شبکه توزیع، تعیین کننده میزان جریان خطای تولیدی توسط شبکه است. در صورتی که $\frac{aZ_1}{Z_g}$ کوچک باشد در آن صورت $I_{\text{grid}} \approx I_{k,\infty}$ ، این حالت زمانی اتفاق می افتد که واحد تولید پراکنده در نزدیکی پست توزیع نصب شده و مقدار a کوچک باشد. در حالت واقعی $S_K'' \rightarrow \infty$ هرگز رخ نمی دهد مخصوصاً در شبکه های با سطح ولتاژ متوسط که مقدار S_K'' می تواند کوچک باشد. بنابراین رابطه (5-3) هرگز به دست نمی آید. در این حالت تاثیر واحد منابع تولید پراکنده در تامین جریان خطای تولیدی توسط شبکه اصلی مطابق با رابطه (4-3) نسبت به مکان نصب واحد منابع تولید پراکنده و اندازه آن غیرخطی می باشد. بنابراین مقدار I_{grid} یک رابطه غیر خطی می باشد. در حالتی که شبکه ضعیف باشد مقدار Z_s نسبت به Z_g کوچک است و در نتیجه میزان جریان خطای تولیدی از طرف شبکه اصلی اندک است. بنابراین این امکان وجود دارد که به دلیل کوچکی مقدار جریان خطا، رله جریان زیاد نصب شده بر روی خط نتواند اضافه جریان را تشخیص دهد.

۴-۳ تاثیر نوع فن آوری واحد منابع تولید پراکنده بر مقدار جریان خطا

نصب واحدهای تولید پراکنده باعث افزایش و یا کاهش جریان اتصال کوتاه شبکه می گردد. میزان تاثیر این منابع بر جریان خطا به عوامل متعددی بستگی دارد. از جمله این عوامل می توان به موارد زیر اشاره کرد: [۱۲]، [۱۷]، [۱۸]

۱- نوع واحد تولید پراکنده،

۲- حالت عملکرد،

۳- نحوه ارتباط به شبکه

۴- مقدار ولتاژ قبل از وقوع خطا

جدول (۱-۳) سطح اتصال کوتاه برای یک سیستم نمونه را برای چند نوع خاص واحد تولید پراکنده نشان می دهد. برخی از واحدهای تولید پراکنده توسط اینورتر به شبکه متصل می شوند جریان خطایی که توسط این واحدها تولید می شود بستگی به ماکزیمم جریان و یا زمان تحمل این جریان توسط اینورتر دارد که توسط شرکت سازنده مشخص می شود. برای برخی از اینورترها زمان تحمل خطا ممکن است کمتر از یک سیکل باشد و برای برخی دیگر این زمان بیشتر می باشد. جریان خطایی که توسط واحدهای تولید پراکنده از نوع ژنراتور سنکرون تولید می شود بستگی به ولتاژ قبل از وقوع خطا، راکتانس گذار و زیرگذرای ماشین و نیز سیستم تحریک دارد. جریان خطای تولیدی توسط واحدهای تولید پراکنده از نوع ژنراتور آسنکرون تنها در چند سیکل اول مورد توجه می باشد که از طریق تقسیم ولتاژ قبل از وقوع خطا بر راکتانس گذرای ماشین بدست می آید.

جدول (۱-۳): جریان خطای تولیدی توسط چند نوع واحد تولید پراکنده [۱۷]

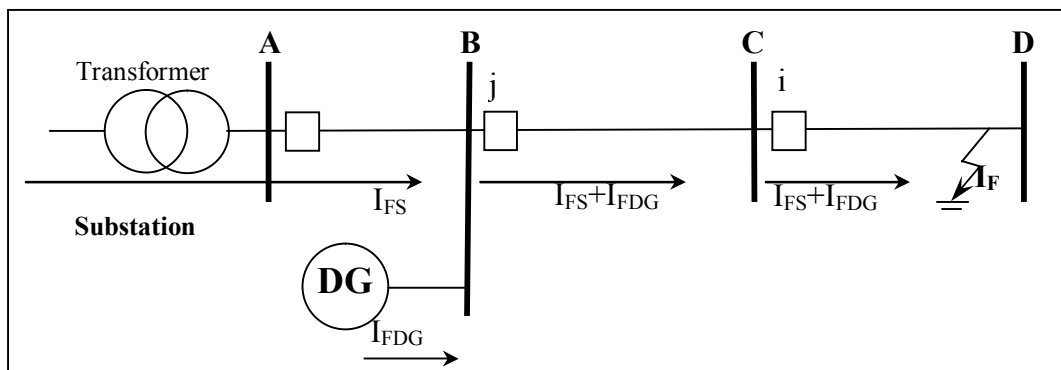
نوع واحد تولید پراکنده	جریان خطای تزریقی به شبکه بر حسب درصدی از جریان نامی
Converter	۴۰۰-۱۰۰٪ (بسته به تنظیمات کنترلر، جریان خطا می تواند کمتر از ۱۰۰٪ نیز باشد)
Synchronous Generator	۵۰۰-۱۰۰۰٪ (بعد از چند سیکل این مقدار تا ۴۰۰-۲۰۰٪ نیز کاهش پیدا می کند)
Induction Generator	۵۰۰-۱۰۰۰٪ (بعد از چند سیکل اولیه به دلیل کوچکی مقدار، میتوان از آن صرف نظر کرد)

طبق جدول (۱-۳) بیشترین تاثیر واحدهای تولید پراکنده بر سطح اتصال کوتاه، مربوط به ژنراتورهای سنکرون می باشد. بنابراین هدف اصلی از انجام این پایان نامه، بررسی تاثیر واحدهای سنکرون بر سطح اتصال کوتاه می باشد.

۳-۵ تاثیر اندازه منبع تولید پراکنده بر جریان خطا

شبکه شعاعی نشان داده شده در شکل (۳-۳) را در نظر بگیرید. رله z برای رله i پشتیبان محسوب می شود. قبل از نصب واحد منابع تولید پراکنده، در صورتی که خطایی در ناحیه حفاظتی رله i اتفاق بیافتد، جریان خطای گذرنده از رله i و z تقریباً با یکدیگر برابر است. به هنگام تنظیم زمان عملکرد رله i و z تنظیمات به گونه ای صورت گرفته که به ازای خطا در ناحیه حفاظتی رله i ، رله z همواره به

عنوان پشتیبان عمل کند و ضمناً زمان هماهنگی این دو رله نیز نبایستی از مقدار مجاز (۰.۳s) کمتر باشد. با نصب واحد منابع تولید پراکنده بر روی شین B جریان گذرنده از آن افزایش می‌یابد و این تغییر جریان ممکن است باعث گردد زمان هماهنگی بین دو رله از مقدار مجازش کمتر شود. اگر اندازه واحد منابع تولید پراکنده کوچک باشد، مقدار جریان I_{fdg} نیز کوچک خواهد بود و در نتیجه رله اصلی i و پشتیبان j، فاصله CTI مجاز را رعایت می‌کنند. اما در صورت افزایش ظرفیت واحد منابع تولید پراکنده، به ازای جریان‌های بزرگتر از یک مقدار مشخص، فاصله CTI مجاز بین دو رله i و j رعایت نمی‌گردد. به دلیل غیر خطی بودن مشخصه زمان عملکرد رله، نمی‌توان به صورت تحلیلی و دقیق، تاثیر افزایش ظرفیت واحد منبع تولید پراکنده را بر زمان عملکرد رله‌ها مشخص کرد. برای نشان دادن این موضوع، رابطه زمان جریان رله را در نظر بگیرید.



شکل (۳-۳): تاثیر واحد تولید پراکنده بر حفاظت جریان زیاد [۱۲]

$$t_i = \frac{A.TDS_i}{\left(\frac{I_{fs}}{I_{pi}}\right)^c - 1} \quad (۳-۶)$$

فرض شود بدون حضور واحد منبع تولید پراکنده تنظیم شده است و TDS_i و I_i موجود در رابطه (۲-۲) مشخص باشند. ضرایب A و C نیز مشخص باشند. بنابراین تنها متغیر رابطه (۳-۶)، جریان خطای گذرنده از رله (I_f) می‌باشد. مطابق شکل (۳-۳) با نصب واحد منبع تولید پراکنده بر روی شین B جریان خطای گذرنده از رله i برابر است با $I_{fs} + I_{fdg}$. با توجه به این که ولتاژ شینی که واحد منبع تولید پراکنده بر روی آن نصب شده است (V_{DG}) در لحظه وقوع خطا مشخص می‌باشد می‌توان رابطه را به صورت زیر ساده نمود.

$$\frac{I_{fs}+I_{fDG}}{I_{pi}} \times \frac{\sqrt{3}V_{DG}}{\sqrt{3}V_{DG}} = \frac{I_{fs}}{I_{pi}} + \frac{S_{DG}}{\sqrt{3}V_{DG} \times I_{pi}} \quad (۷-۳)$$

با جای گذاری رابطه (۷-۳) در (۶-۳) می توان نوشت.

$$t_i = \frac{A.TDS_i}{\left(\frac{I_{fs}+S_{DG}}{I_{pi} \sqrt{3}V_{DG} \times I_{pi}}\right)^{c-1}} \quad (۸-۳)$$

با توجه به این که V_{DG} نیز تابعی از S_{DG} می باشد بنابراین نمی توان به صورت دقیق ارتباط خاصی بین افزایش ظرفیت واحد منبع تولید پراکنده و زمان عملکرد رله های موجود در سیستم را پیدا کرد. در نتیجه برای بررسی تاثیر افزایش ظرفیت واحد منبع تولید پراکنده بر زمان عملکرد رله ها، بایستی ابتدا به اندازه ΔS_{DG} ظرفیت واحد منبع تولید پراکنده را افزایش داد:

$$S_{DG}^{new} = S_{DG}^{old} + \Delta S_{DG} \quad (۹-۳)$$

سپس جریان خطای گذرنده از رله ها با در نظر گرفتن افزایش ظرفیت واحد منبع تولید پراکنده را به دست آورد.

$$I_f = I_{fs} + I_{fDG} \quad (۱۰-۳)$$

با مشخص شدن جریان خطا می توان زمان عملکرد رله ها را به دست آورد. اگر ظرفیت واحد منبع تولید پراکنده کوچک باشد، تغییر جریان گذرنده از رله ناچیز خواهد بود اما به تدریج با افزایش ظرفیت، تغییر جریان ممکن است به گونه ای باشد که باعث تداخل در عملکرد رله های اصلی و پشتیبان شبکه گردد.

طبق بررسی های صورت گرفته در زمینه هماهنگی تجهیزات حفاظتی با حضور تولید پراکنده میتوان نتایج ذیل را برای هماهنگی فیوز-فیوز و هماهنگی رله-رله بیان نماییم (مشکلاتی که ممکن است در این هماهنگی ها ایجاد شوند تقریباً مشابه اند):

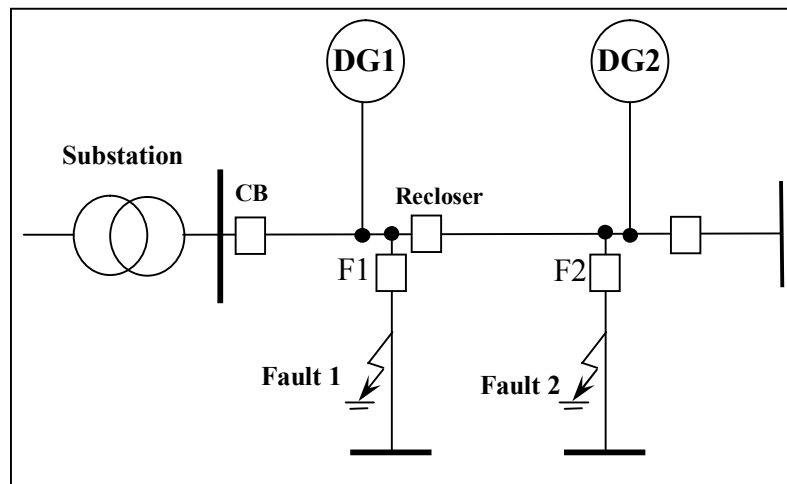
۶-۳ تأثیر حضور تولید پراکنده بر هماهنگی فیوز-ریکلوزر

همانطور که اشاره شد حضور منبع تولید پراکنده بر روی فیدر به این معنی است که منابع مختلفی برای تغذیه جریان خطا به وجود آمده است و فلسفه عملکردی ریکلوزر محقق نخواهد شد. در این

شرایط واحدهای تولید پراکنده جریان خطا را در مدت زمان، باز بودن ریکلوزر تأمین می‌کنند و لذا خطای گذرا بدین وسیله تبدیل به خطای دائمی می‌شود و به وسیله ریکلوزر از بین نمی‌رود. به هرحال این مشکل چه از نقطه نظراقتصادی و چه از نقطه نظر فنی به هیچ وجه قابل توجیه نیست و باعث کاهش شدید قابلیت اطمینان سیستم خواهد شد. به منظور روشن شدن بیشتر موضوع و بررسی حالت‌های مختلف ناشی از ورود منبع تولید پراکنده در شکل (۳-۴) یک فیدر ساده توزیع با اضافه شدن منبع تولید پراکنده نشان داده شده‌است. با توجه به شکل وابسته به محل قرارگیری منبع تولید پراکنده نسبت به ریکلوزر چهار حالت را می‌توان در نظر گرفت که در جدول (۳-۲) ارائه شده‌اند. [۲۰]

جدول (۳-۲): حالت‌های مختلف خطا

محل خطا	واحد DG	حالت
خطا ۱	DG 2	۱
خطا ۲	DG 2	۲
خطا ۲	DG 1	۳
خطا ۱	DG 1	۴



شکل (۳-۴): یک فیدر ساده برای بررسی چند حالت از خطا

حالت اول:

در حالت اول جریان خطای دیده شده توسط فیوز برابر با حاصل جمع برداری جریان خطای (I_{DG}) منبع تولید پراکنده و جریان پست (I_S) است. این بدین معناست که در صورتی که محل خطا و منبع تولید پراکنده در پائین دست ریکلوزر قرار گیرند و در صورت رخداد خطای گذرا محل خطا همواره

توسط، منبع تولید پراکنده تغذیه می‌شود و ریکلوزر قادر نیست این خطا را برطرف نماید. در این حالت جریان خطای عبوری از پست توزیع و ریکلوزر یکسان است ($I_S=I_R$).

حالت دوم:

در حالت دوم جریان معکوس از ریکلوزر عبور می‌کند. به هنگام وقوع خطا، فیوز باید قبل از ریکلوزر عمل قطع را انجام دهد. بنابراین سائز منبع تولید پراکنده نیز باید به گونه‌ای انتخاب شود که ریکلوزر قادر به دیدن خطای جریان معکوس نباشد.

حالت سوم:

در حالت سوم تغذیه خطا توسط جریان منبع تولید پراکنده و پست می‌تواند منجر به افزایش ماکزیمم جریان اتصال کوتاه شود. در نتیجه محدوده حفاظتی تغییر خواهد کرد و امکان بهم خوردن توالی عملکرد فیوز و ریکلوزر در هنگام وقوع خطا وجود خواهد داشت. در این حالت جریان خطای دیده شده توسط فیوز و ریکلوزر یکسان و برابر جمع برداری جریان خطای منبع تولید پراکنده و جریان پست (I_S) است.

حالت چهارم:

در حالت چهارم نیز، ریکلوزر جریان خطا را نخواهد دید و از نظر هماهنگی حفاظتی تأثیری بر هماهنگی سیستم موجود نخواهد گذاشت.

با بررسی چهار حالت فوق می‌توان نتیجه گرفت که در حالت‌های ۱، ۲ و ۳ هماهنگی حفاظتی موجود از بین خواهد رفت که باید مورد بررسی قرار گیرند. البته شایان ذکر است که در مواردی که امان حفاظتی جمع دو جریان را می‌بیند، باید توجه شود که این جریان در محدوده عملکرد هر امان قرار گیرد. اگرچه در بخش قبل برای حل چنین مسائلی در شبکه راه‌حلهایی از جمله استفاده از رله-های جهت‌دار و تغییر تنظیمات شبکه ارائه شد، اما هزینه‌های ناشی از این تغییرات و تنظیمات جدید می‌تواند باعث عدم دستیابی به فواید استفاده از تولیدات پراکنده شود.

۷-۳ تعیین حداکثر سائز منبع تولید پراکنده جهت حفظ هماهنگی فیوز-ریکلوزر

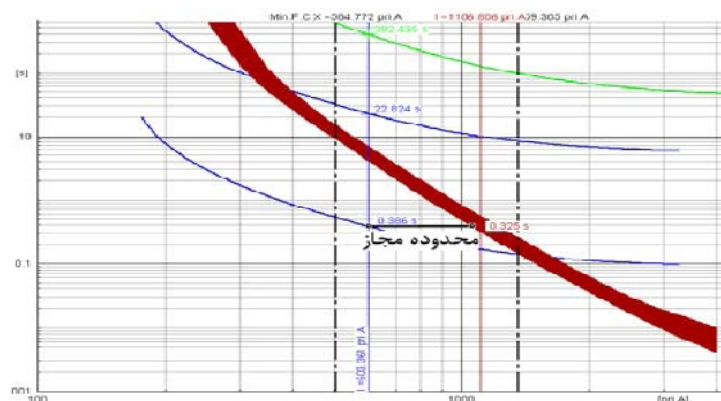
در هماهنگی فیوز-ریکلوزر نیز برای با ارزش ماندن هماهنگی، حاشیه‌ای وجود دارد. در این مورد، اگر اختلاف در جریان خطا دیده شده توسط این تجهیزات کمتر از حاشیه باشد، هماهنگی برقرار

است. بنابراین، هر چه میزان تزریق منبع تولید پراکنده به محل خطا، کم باشد هماهنگی احتمالا برقرار می‌ماند.

اگر منبع تولید پراکنده به خط اصلی متصل شود مقدار ماکزیمم و مینیمم جریان‌های خطا در فیدر بار، تغییر می‌کند و برای خطا در فیدر بار، فیوز جریان بیشتری نسبت به ریکلوزر می‌بیند (I_{FUSE}) ($I_{RECLOSER} >$ در حالتی که جریان‌های خطا هنوز در محدوده مجاز (بین I_{fmin} و I_{fmax}) قرار دارند، همان‌طور که در شکل (۲-۴-ب) نشان داده شده است یک حاشیه خواهیم داشت.

اگر برای یک جریان خطای معین، اختلاف بین I_{FUSE} و $I_{RECLOSER}$ بیش از حاشیه باشد، قبل از اینکه ریکلوزر در مد سریع عمل نماید فیوز آسیب خواهد دید و هماهنگی از دست خواهد رفت. بنابراین، اندازه‌های بزرگتر منبع تولید پراکنده توانایی تزریق جریان خطای بیشتر و فاصله کوتاه‌تر محل نصب آن از فیدر بار منجر به ایجاد اختلاف بیشتر و نهایتاً از دست رفتن هماهنگی خواهد شد. در این مورد برخلاف حالت فیوز-فیوز اگر میزان تزریق منبع تولید پراکنده به محل خطا کمتر باشد هماهنگی احتمالا برقرار می‌ماند. [۲۱] و [۲۳]

یکی از راه‌حلهایی که برای مشکل مطرح شده می‌تواند ارائه شود، محدود نمودن جریان خطای منبع تولید پراکنده است. به این معنی که برای حفظ هماهنگی حفاظتی شبکه موجود، میزان مشارکت منبع تولید پراکنده در تغذیه جریان خطا محدود شود. به عبارت دیگر حفظ هماهنگی شبکه محدودیت‌هایی برای سائز منبع تولید پراکنده در پی خواهد داشت. به عنوان نمونه شکل (۳-۱۰) این محدودیت سائز برای منبع تولید پراکنده را بیشتر روشن می‌کند. همان‌گونه که در قسمت بعدی توضیح داده خواهد شد، در حالت‌های مختلف میزان جریان عبوری از فیوز و ریکلوزر متفاوت است.



شکل (۳-۵): محدوده مجاز برای تزریق جریان منبع تولید پراکنده [۲۳]

این تفاوت ناشی از مشارکت منبع تولید پراکنده در تغذیه محل خطا می‌باشد که خود وابسته به اندازه و محل نزدیکی و دوری منبع تولید پراکنده از فیدر باری است که خطا در آن اتفاق افتاده است. به این ترتیب که هر چقدر منبع تولید پراکنده جریان بیشتری را تزریق کند و یا به فیدر تغذیه بار نزدیک‌تر شود احتمال از بین رفتن هماهنگی بسیار بیشتر می‌شود و برعکس. برای نمونه در شکل (۳-۵) مقادیر جریان عبوری از ریکلوزر و فیوز نمایش داده شده است. به ازای جریان خطای مشخص، چنانچه تفاوت بین I_F و I_R از محدوده هماهنگی بیشتر باشد، فیوز قبل از این که ریکلوزر در مد سریع خود عمل کند ذوب می‌شود و هماهنگی از بین می‌رود. برای پیدا کردن اندازه منبع تولید پراکنده می‌توان به این ترتیب عمل نمود که با استفاده از رابطه (۲-۲) می‌توان جریان ریکلوزر را در زمان t محاسبه نمود، جریان فیوز در همان زمان نیز از رابطه (۲-۱) قابل محاسبه است. با توجه به فلسفه هماهنگی، در زمان t ، که فیوز و ریکلوزر همزمان عمل می‌نمایند، می‌توان میزان $I_{fuse,margin}$ که از حاصل جمع‌برداری جریان منبع تولید پراکنده و جریان عبوری از پست توزیع ناشی می‌شود را بدست آورد. این مقدار باید به گونه‌ای تعیین شود که حاصل جمع‌برداری جریان منبع تولید پراکنده و جریان عبوری از پست توزیع کمتر از این مقدار شود. یا به عبارت دیگر: [۲۳]

$$I_S + I_{DG} < I_{fuse,margin} \quad (۱۱-۳)$$

که در آن

I_S : جریان خطای ناشی از پست توزیع است.

I_{DG} : جریان خطای ناشی از منبع تولید پراکنده است.

$I_{fuse,margin}$: جریان خطای دیده شده توسط فیوز با در نظر گرفتن جریان مجاز ناشی از منبع تولید پراکنده است.

با استفاده از رابطه (۲-۱) و با جایگذاری در رابطه (۱۱-۳)، می‌توان رابطه (۱۲-۳) را بدست آورد.

$$I_{DG} < 10^{\left(\frac{\log(t)-b}{a}\right)} - I_S \quad (۱۲-۳)$$

از طرفی با داشتن معادله زمان عملکرد منحنی سریع ریکلوزر از رابطه (۲-۲) و با توجه به مقادیر جریان عبوری از ریکلوزر در حالات مختلف می‌توان زمان قطع ریکلوزر در مد کند آن را محاسبه نمود. در حالت ۱ با توجه به اینکه جریان عبوری از ریکلوزر برابر I_S است، خواهیم داشت:

$$t(I) = \frac{A}{(I_S/I_P)^{P-1}} + B \quad (13-3)$$

در حالت ۲ و با توجه به اینکه جریان ریکلوزر برابر I_{DG} است داریم:

$$t(I) = \frac{A}{(I_{DG}/I_P)^{P-1}} + B \quad (14-3)$$

و نهایتاً در حالت ۳ و با توجه به اینکه جریان ریکلوزر برابر با $I_{DG} + I_S$ است، خواهیم داشت:

$$t(I) = \frac{A}{(I_S + I_{DG}/I_P)^{P-1}} + B \quad (15-3)$$

بنابراین بواسطه ترکیب رابطه (۱۲-۳)، با روابط (۱۳-۳)، (۱۴-۳) و (۱۵-۳) می‌توان جریان مجاز منبع تولید پراکنده در هنگام خطا برای جلوگیری از به هم خوردن هماهنگی را بدست آورد. معمولاً سائز منابع تولید پراکنده بر اساس ظرفیت اتصال کوتاه بیان می‌شود. بدین منظور برای بدست آوردن ظرفیت اتصال کوتاه (MVA) مجاز منبع تولید پراکنده می‌توان از رابطه زیر استفاده نمود:

$$Short - Circuit MVA = \sqrt{3} \times V_{DG} \times I_{DG} \quad (16-3)$$

که با جایگذاری رابطه (۱۲-۳) در رابطه (۱۶-۳)، ماکزیمم ظرفیت اتصال کوتاه منبع تولید پراکنده، S_{DG} ، به این ترتیب بدست می‌آید:

$$S_{DG} < \sqrt{3} \times V_{DG} \times (10^{\left(\frac{\log(t)-b}{a}\right)} - I_S) \quad (17-3)$$

که زمان (t) در این رابطه بنابر اینکه کدام یک از حالت های ۱ تا ۳ برقرار باشد از رابطه (۱۳-۳)، (۱۴-۳) و یا (۱۵-۳) قابل محاسبه است. لازم به ذکر است که در تمام مراحل فوق، به منظور در نظرگرفتن بدترین شرایط، برای انتخاب محل و نوع خطا، باید به نحوی عمل شود که جریان عبوری از المانهای حفاظتی مقدار بیشینه خود را داشته باشد. بنابراین برای انجام محاسبات فوق لازم است که ابتدای فیدر تغذیه بار به عنوان محل خطا و خطای سه فاز متقارن به عنوان نوع خطا انتخاب شود و مقادیر جریانهای مورد نیاز با شبیه سازی شرایط فوق محاسبه گردند.

تاثیر اصلی واحدهای تولید پراکنده بر حفاظت فیدرهای توزیع در چند حوزه می باشد [۱۸]. مدیریت مشکلات مرتبط با حفاظت منبع تولید پراکنده که عمدتاً به موارد نصب آن برمی گردد، نقش

اساسی در آینده منابع انرژی پراکنده ایفا می‌کند. در اینجا مشکلات نوعی و راهکارهای ممکن جهت کاهش اثرات مخرب مورد بررسی قرار می‌گیرد.

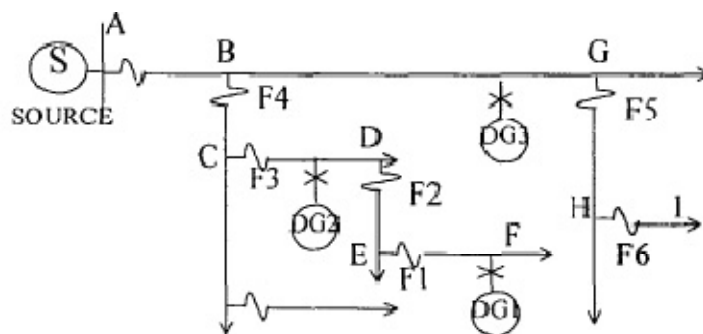
۸-۳ تأثیر حضور تولیدات پراکنده بر هماهنگی فیوز- فیوز و رله- رله

این موضوع در دو حالت بررسی می‌شود: [۱۷] الی [۲۱]

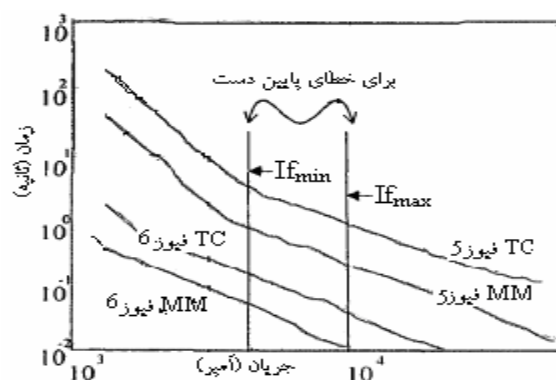
۱- هماهنگی با دیدن جریان خطای پایین دست:

بعنوان مثال در شکل (۶-۳) فیوزهای پایین دست آخرین منبع تولید پراکنده، خطایی در بخش HI، تنها جریان مربوط به خطای پایین دستشان را خواهند دید و هرگز جریان خطای بالادست را نمی‌بینند. اگر این فیوزها بتوانند جریان خطای افزایش یافته ناشی از تزریق منبع تولید پراکنده را تحمل نمایند، مشکلی برای هماهنگی آنها وجود نخواهند داشت و همانند حالت بدون منبع تولید پراکنده، البته در یک جریان متفاوت، (معمولاً بالاتر) تنظیم می‌شوند. این هماهنگی در شکل (۷-۳) نشان داده شده‌است.

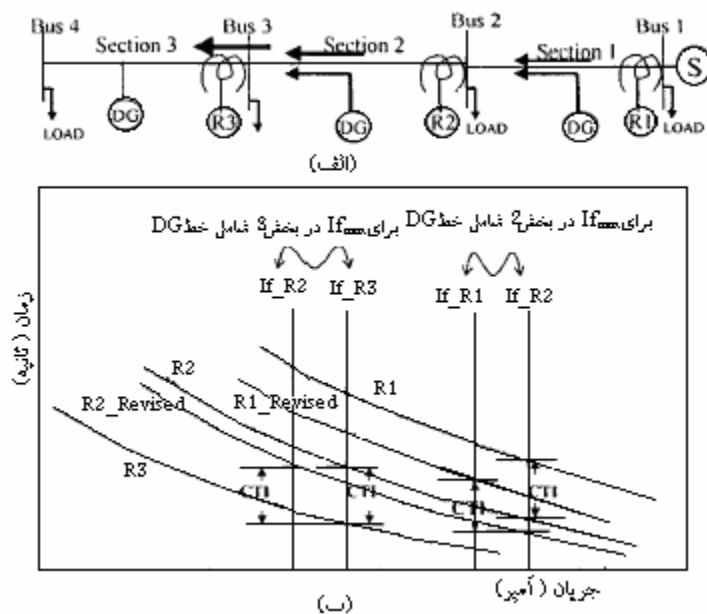
در مورد رله‌ها نیز مشکلات مشابه فیوزها ایجاد می‌شود که نحوه هماهنگی آنها، در شکل (۸-۳) آمده‌است. چون R_2 جریان کمتری نسبت به R_3 حس می‌کند، ($I_{R3} > I_{R2}$) منحنی اصلاح شده برای R_2 به پایین شیفต์ خواهد یافت، این موضوع در شکل (۸-۳) نشان داده شده‌است. همین‌طور جهت هماهنگ شدن R_1 و R_2 برای خطای ماکزیمم در بخش ۲ از شکل، منحنی مربوط به R_1 نیز به پایین شیفต์ خواهد یافت.



شکل (۶-۳): بخشی از یک سیستم توزیع ثانویه بزرگ با حضور منبع تولید پراکنده



شکل (۷-۳): هماهنگی فیوزها برای خطای پایین دست با حضور منبع تولید پراکنده



شکل (۸-۳): هماهنگی رله‌ها برای خطای پایین دست با حضور منبع تولید پراکنده

۲- هماهنگی با دیدن جریان خطای بالا دست:

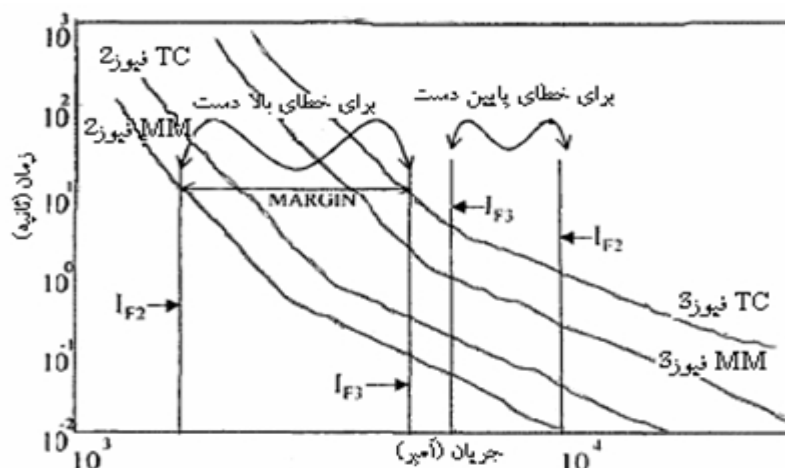
اگر تجهیزات حفاظتی جریان خطاهای بالادست را نیز ببینند، همانند فیوزهای F_3 و F_4 وقتی که خطا در بخش AB شکل (۶-۳) رخ دهد دو امکان وجود دارد:

- ۱- اگر تجهیزات حفاظتی جریان خطای یکسانی را برای یک خطای پایین دست و یک خطای بالادست ببینند، هماهنگی از دست خواهد رفت. چون برای خطایی در بخش CD، باید فیوز F_3 قبل از F_4 عمل کند اما برای خطایی در بخش AB، باید، فیوز F_4 قبل از F_3 عمل کند و از

آنجا که هر دو فیوز جریان خطای یکسانی را برای یک خطای بالا دست و یا پایین دست می-بینند، این نیازمندی نمی‌تواند برآورده شود.

۲- اگر آن‌ها جریان متفاوتی را برای یک خطای بالادست و یا پایین دست ببینند، حاشیه‌ای برای ارزشمند ماندن هماهنگی وجود دارد. اگر اختلاف در جریان خطای دیده شده توسط تجهیزات بیشتر از حاشیه باشد، هماهنگی برقرار می‌ماند. بنابراین، هرچه میزان تزریق منبع تولید پراکنده به محل خطا، بیشتر باشد احتمال برقرار ماندن هماهنگی بیشتر خواهد بود.

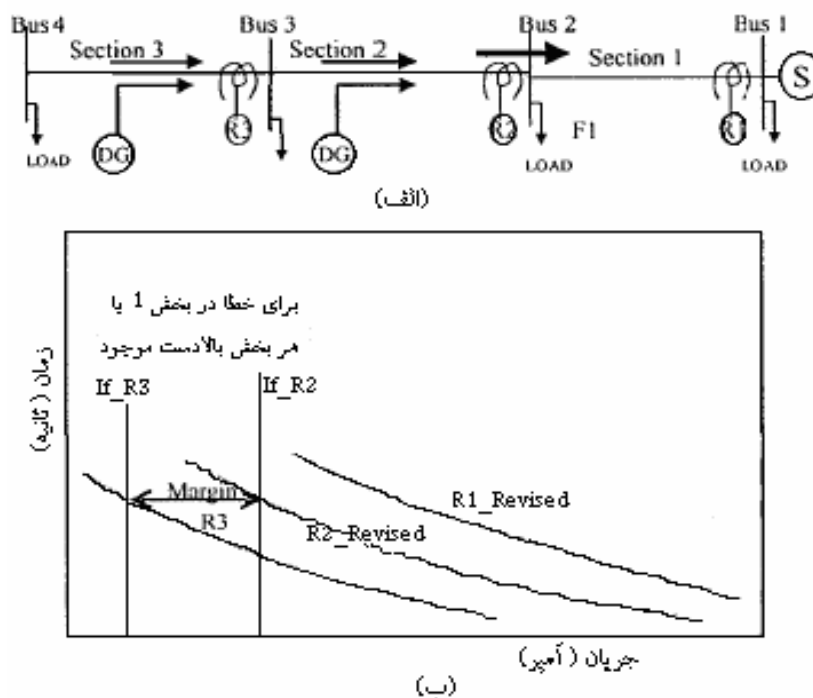
همان‌طور که در شکل (۳-۹) نشان داده شده‌است، برای یک خطای پایین دست، فیوز F_2 جریان بیشتری را نسبت به F_3 خواهد دید که اختلاف بین این دو جریان متناسب با اندازه DG_2 خواهد بود. مشاهده می‌شود که در این حالت هماهنگی هرگز از دست نمی‌رود، چون F_2 همیشه قبل از F_3 که دورتر از محل قسمتی از خط که آسیب دیده، واقع شده‌است عمل خواهد کرد، که برای یک خطای پایین دست باید همواره این‌چنین باشد.



شکل (۳-۹): حد هماهنگی با حضور منبع تولید پراکنده در مورد جریان‌های خطای مختلف بواسطه فیوزها

برای خطای بالادست، جریان خطا در فیوز F_3 بیشتر از جریان برای خطا F_2 خواهد بود. در این-حالت نیز، اختلاف بین I_{F3} و I_{F2} متناسب با اندازه و نوع DG_2 است. اگر اختلاف بین جریان‌ها بیش از حاشیه باشد، F_3 قبل از اینکه F_2 آسیب ببیند عمل خواهد کرد و هماهنگی برقرار است. اگر این اختلاف کمتر از حاشیه باشد، F_2 قبل از اینکه F_3 عمل کند آسیب خواهد دید، یعنی هماهنگی از بین می‌رود.

نحوه هماهنگی رله‌ها برای این مورد، در شکل (۳-۱۰) آمده‌است. در این حالت R_2 جریان بیشتری را نسبت به R_3 حس می‌کند، نیاز است رله R_2 قبل از R_3 عمل کند که در این حالت از منحنی‌های اصلاح شده رله‌های R_1 و R_2 استفاده می‌شود. برای یک جریان خطای معلوم I_{fR2} شکل (۳-۱۰-ب) حاشیه لازم، برای هماهنگی را نشان می‌دهد تا برای یک خطای بالادست به درستی عمل نماید. اگر اختلاف در جریان‌های خطای حس شده توسط R_2 و R_3 کمتر از حاشیه نشان داده شده باشد، R_3 قبل از R_2 عمل خواهد کرد و هماهنگی از بین می‌رود.

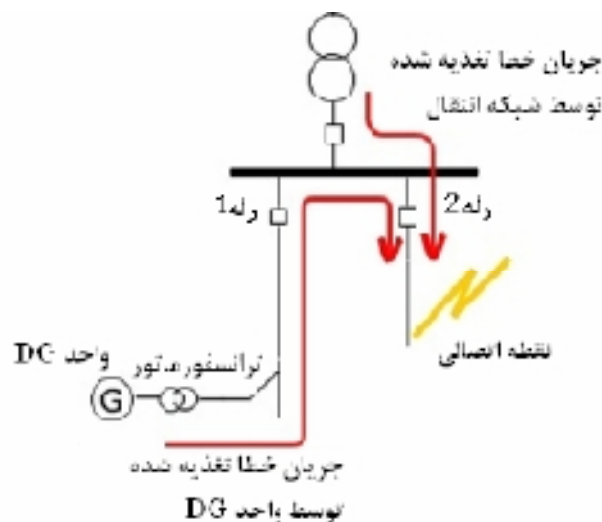


شکل (۳-۱۰): حد برقرار ماندن هماهنگی رله‌ها در خطاهای بالادست با حضور منبع تولید پراکنده

۳-۹ تاثیر منابع تولید پراکنده بر خروج بی‌موقع و یا تریپ اشتباه رله^۱

وقتی دو فیدر از باس پست یکسانی تغذیه می‌شوند و خطا در یکی از دو فیدر اتفاق می‌افتد، چون واحد منبع تولید پراکنده جریان خطای مربوط به نقطه اتصالی را از طریق باس مشترک تغذیه می‌کند، این امکان وجود دارد که جریان اندازه‌گیری شده در ابتدای فیدر منبع تولید پراکنده از تنظیمات مجاز تریپ رله تجاوز نماید. این مفهوم بطور کلی منجر به قطع غیرضروری فیدر دارای منبع تولید پراکنده شده و در نتیجه روی قابلیت اطمینان و امنیت سیستم توزیع تاثیر می‌گذارد. این وضعیت در شکل (۳-۱۱) نشان داده شده‌است. [۲۱]

1- Sympathetic Tripping



شکل (۳-۱۱): تریپ اشتباه رله و خروج بی موقع آن

یک واحد تولید پراکنده نسبتاً قدرتمند با نقطه اتصال یا منبع تولید پراکنده واقع شده در نزدیکی پست (یا هر دو) ممکن است منجر به این نوع مشکلات شود. معمولاً می‌توان با تنظیمات مناسب رله از این مشکل اجتناب کرد. بعنوان مثال، تنظیمات جریان و زمان تریپ می‌تواند تغییر یابد، بطوریکه تریپ همیشه در فیدر شامل منبع تولید پراکنده در مقایسه با فیدرهای مجاور، کندتر باشد. البته بسته به نوع آرایش و پارامترهای شبکه ممکن است قیود دیگری وجود داشته‌باشد که باید بخوبی بررسی شود. مثلاً حدود گرمایی اجزای شبکه، نمونه‌ای از این محدودیت‌ها است.

قابل توجه است که حفاظت در تمامی حالات باید به خوبی انجام شده و ناحیه‌ای که منبع تولید پراکنده در آن قرار گرفته نباید مسئله‌ای در حفاظت شبکه ایجاد نماید. موثرترین راه‌حل این مسئله استفاده از یک رله اضافه جریان جهتدار در فیدر شامل منبع تولید پراکنده می‌باشد. با این راه‌حل جریان خط تنها وقتی باعث تریپ می‌شود که از سمت پست به شبکه تزریق شود. که البته این روش، نیازمند اجزای حفاظتی و سرمایه‌گذاری‌های جدیدی در شبکه می‌باشد.

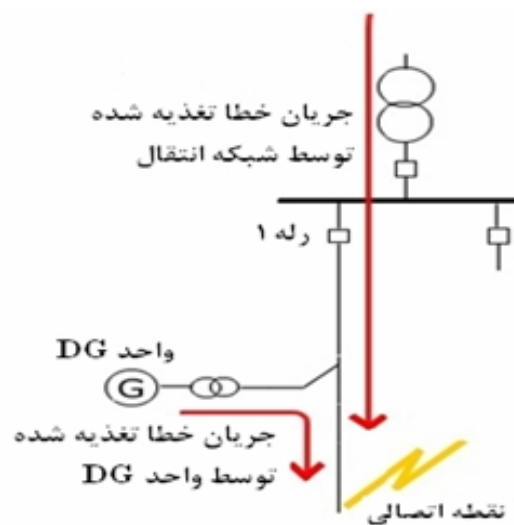
۳-۱۰ کورشدن حفاظت و عدم عملکرد رله جریان زیاد^۱ با حضور منابع تولید پراکنده

یک مشکل اساسی دیگری که ممکن است اتفاق بیافتد کورشدن حفاظت است، که باعث کاهش محدوده تحت پوشش رله می‌گردد. به عبارت دیگر، حفاظت به بخش‌های دور از پست‌های تغذیه یا در

1- Protection Blinding

خطاهایی با جریان اتصالی کم، تخصیص نمی‌یابد. در این مورد واحد منبع تولید پراکنده در جایی بین رله تغذیه و نقطه اتصالی نصب می‌شود.

رله‌های اضافه جریان معمولاً جهت حفاظت از قسمت خاصی در شبکه بکار برده می‌شوند که معمولاً این ناحیه به عنوان ناحیه قابل دسترس رله معرفی می‌شود. این ناحیه معمولاً توسط مینیمم جریان خطا که باعث عملکرد رله می‌شود و یا همان جریان قطع رله تعیین می‌گردد. حضور واحد منبع تولید پراکنده باعث می‌شود که ناحیه قابل دسترس رله کاهش یابد چرا که در طی خطا، واحد منبع تولید پراکنده جریان خطا را تغذیه می‌نماید و ناحیه در دسترس رله دستخوش تغییر می‌گردد. در این حالت امپدانس‌های اتصال کوتاه بین پست و منبع تولید پراکنده و بین خطا و منبع تولید پراکنده ممکن است باعث کاهش جریان خطای اندازه‌گیری شده در رله شوند که این موضوع خصوصاً در خطاهای با مقاومت زیاد و خطاهای دو فاز انتهایی فیدر رخ می‌دهد. بنابراین در صورت وقوع خطا با امپدانس غیرصفر، قسمتی از شبکه توسط رله محافظت نمی‌شود و در مقابل خطای با جریان کوچک عمل نمی‌کند. این وضعیت در شکل (۳-۱۲) ملاحظه می‌شود [۹]، [۱۸] و [۲۱].



شکل (۳-۱۲): کور شدن حفاظت و جلوگیری از عملکرد رله

این موضوع را به صورت تئوری می‌توان این‌گونه توجیه کرد که وقتی یک واحد تولیدی به فیدر فشار متوسط به پست بالا دستی وصل شده باشد، اگر خطایی در انتهایی فیدر رخ دهد جریان خطا از دو طریق تامین می‌شود، بخشی توسط شبکه (I_1) و بخشی توسط منبع تولیدی (I_2). این وضعیت در شکل (۳-۱۳) نشان داده شده‌است. اگر فرض کنیم جریان خطایی که رله ابتدای فیدر در حالتی که منبع تولید پراکنده در مدار نباشد می‌بیند I_K باشد، خواهیم داشت:

$$\frac{I_1}{I_K} = \frac{Z_G(Z_S + Z_L)}{Z_S(Z_G + Z_L) + Z_L Z_G} \quad (۱۸-۳)$$

که در آن:

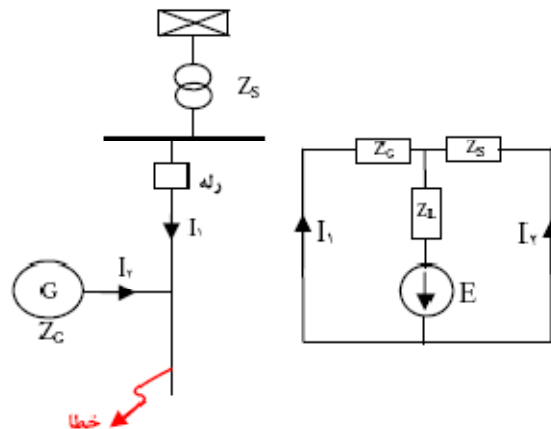
Z_S : امپدانس معادل شبکه و اولیه ترانسفورماتور

Z_G : امپدانس ژنراتور

Z_L : امپدانس فیدر (خط)

حال با فرض $Z_L = bZ_S$ و $Z_G = aZ_S$ خواهیم داشت:

$$\frac{I_1}{I_K} = \frac{a+ab}{a+b+ab} \quad (۱۹-۳)$$



شکل (۳-۱۳): جلوگیری از عملکرد رله جریان زیاد

همانگونه که مشخص است در رابطه (۱۹-۳) مقدار کسر همیشه کوچکتر از یک است و این بدان معناست که حضور منبع تولید پراکنده در یک فیدر توزیع باعث کاهش جریان خطای ابتدای فیدر خواهد شد. میزان کم شدن جریان وابسته به محل قرارگیری منبع تولید پراکنده و سایز آن دارد، لذا این امکان وجود دارد که میزان این کاهش جریان باعث شود که رله ابتدای فیدر جریان خطا را احساس نکرده و تریپ ندهد. [۲۳]

یک راه حل مرسوم برای این مسئله، کمی پایین تر تنظیم نمودن حدود تریپ رله فیدر، بعد از نصب منبع تولید پراکنده می باشد. از آنجایی که باید در حالات عملیاتی مختلف واحد تولید پراکنده از مشکلات تریپ اجتناب شود، در نتیجه تعیین میزان کاهش تنظیمات به مورد خاص آن حالت مربوط است. نکته مهم دیگر این است که کاهش تنظیم جریان تریپ در تضاد با مشکل خروج بی موقع رله

که در بخش قبل به آن اشاره شد، می‌باشد. تنظیم جریان کاهش یافته احتمال قطع غیرضروری فیدر منبع تولید پراکنده را افزایش می‌دهد. بنابراین تنظیم نهایی برای جلوگیری از این دو مسئله می‌بایست بطور همزمان انجام گیرد. که معمولاً نیازمند ملاحظات تکراری می‌باشد، زیرا تغییرات در یک فاز در دیگر فازها و همچنین در فازهای اولیه موثر است و می‌تواند، بخش مناسبی از طراحی منبع تولید پراکنده که تابعی از سیستم اطلاعات شبکه^۱ است، باشد.

۱۱-۳ خطا در عملکرد ریکلوزر^۲ در حضور منابع تولید پراکنده

سومین مشکل رایج، ممکن است زمانی که ریکلوزرهای سریع اتوماتیک در شبکه بکار می‌روند، اتفاق بیفتد. در ابتدا پست تغذیه و منبع تولید پراکنده که در فیدر یکسانی قرار دارند هر دو نقطه خطا را تغذیه می‌نمایند. در مدت زمان مرده ریکلوز، واحد تولید پراکنده ممکن است متصل به شبکه باقی بماند و بنابراین ولتاژ را در شبکه حفظ کند. معمولاً جریان یک نیروگاه کوچک برای تریپ حفاظت اضافه جریان در نقطه اتصال منبع تولید پراکنده خیلی کوچک است. بنابراین قوس همچنان در نقطه اتصالی بعد از ریکلوز در شبکه باقی می‌ماند که این منجر به خطا در ریکلوز و خطای دائم می‌شود. این وضعیت در شکل (۳-۱۴) نشان داده شده است.

از آنجا که خطا با قطع جریان تغذیه از منبع ممکن است به سرعت رفع شود، بنابراین معمولاً از ریکلوزرها جهت قطع و وصل شبکه به صورت گسترده‌ای استفاده می‌شود. در صورتی که منابع تولید پراکنده پس از وقوع خطا همچنان به کار خود ادامه دهند، دو مشکل مهم به هنگام عملکرد ریکلوزرها پدید می‌آید:

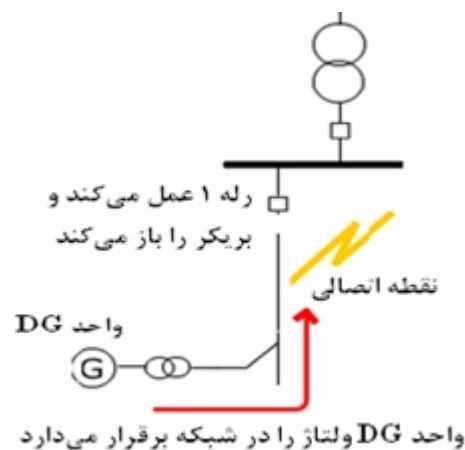
- خطا ممکن است بر اثر تغذیه جریان توسط منبع تولید پراکنده از بین نرود، بنابراین عملیات ریکلوزر با موفقیت صورت نمی‌پذیرد.

- به هنگام عملکرد جزیره‌ای، فرکانس ناحیه جدا شده ممکن است تغییر کند. بنابراین در صورت عملکرد ریکلوزر، دو ناحیه غیر سنکرون به یکدیگر وصل می‌شوند که خطر آفرین است. [۱۷]

خطا در عملکرد ریکلوزر علاوه بر مشکلاتی که به شبکه وارد می‌آورد، در اثر اتصال غیر سنکرون باعث صدمه به واحد تولید پراکنده نیز می‌شود. به این دلیل واحد تولید پراکنده باید همیشه در طی زمان مرده ریکلوزر، از شبکه جدا باشد. طی یک زمان مرده طولانی ممکن است که سرعت ژنراتور

1- network information system
2 - Failure of Reclosing

بسیار زیاد شده و نتواند بدون خطر مجدداً به شبکه وصل شود. بنابراین رله‌های سنکرون‌ساز اغلب برای کنترل اتصال مجدد لازم‌اند. اگر فرکانس‌ها، ولتاژها و زاویه فازهای مربوط به شبکه و منبع تولید پراکنده بعد از زمان مرده، فرق زیادی داشته باشند، از اتصال مجدد باید جلوگیری شود. به نظر می‌رسد که تنظیمات زمان مرده مناسب برای ریکلوزر سریع در فیدرهای شامل منبع تولید پراکنده یک ماهیت نظری داشته باشد. با توجه به بعضی نظریه‌ها، ریکلوزر آنی اصلاً نباید روی فیدرهایی که در آن منبع تولید پراکنده نصب شده است بکار رود. از نقطه نظر واحد تولید پراکنده، این ساده‌ترین راه حل خواهد بود. اما همچنین، منجر به اثراتی بر مسائل دیگر، مانند کاهش قابلیت اطمینان کلی و کیفیت تغذیه خواهد شد. به عبارت دیگر، بعضی سازندگان یک زمان مرده ۰.۳ ثانیه پیشنهاد می‌کنند تا برای واحدهایشان کافی باشد. مهمترین نکته این است که این نکات در طی فرآیند طراحی چک شوند.

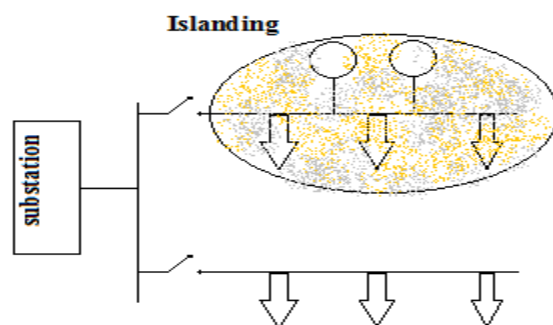


شکل (۳-۱۴): خطا در عملکرد ریکلوزر

۱۲-۳ جزیره‌ای شدن^۱ ناخواسته در حضور منابع تولید پراکنده

جزیره‌ای شدن هنگامی پیش می‌آید که به دلیل وقوع خطا بر روی قسمتی از فیدر، ادوات حفاظتی سعی در جداسازی این قسمت از سایر قسمت‌های شبکه نمایند که در این صورت یک ناحیه جزیره شده پیش می‌آید. جزیره‌ها هنگامی که درون خود واحدهای تولید پراکنده داشته باشند اهمیت زیادی پیدا می‌کنند چرا که واحد تولید پراکنده سعی می‌کند قسمت جزیره شده را تغذیه نماید. به دلیل مشکلات ناشی از جزیره‌ای شدن، واحدهای تولید پراکنده بایستی به سیستم حفاظتی ضد جزیره‌ای شدن مجهز گردند بنابراین واحدهای موجود در ناحیه جزیره شده بایستی هر چه سریعتر از مدار خارج شوند [۱۸] [۱۲]. این مشکلات عبارتند از:

¹ Islanding



شکل (۳-۱۵): جزیره‌ای شدن [۱۲]

- ۱- در حالت عادی، جزیره‌ای شدن پس از وقوع خطا اتفاق می‌افتد. اگر پس از این حالت ژنراتورهای موجود در نواحی جدا شده همچنان به کار خود ادامه دهند در این صورت خطا برطرف نمی‌شود. چرا که همچنان توسط منبع موجود در آن ناحیه تامین می‌شود.
- ۲- ژنراتورهای کوچک موجود در شبکه توزیع معمولاً به تجهیزات کنترل ولتاژ مجهز نیستند. بنابراین دامنه ولتاژ تغییر می‌کند و در محدوده‌های مجاز باقی نمی‌ماند، در نتیجه مقدار ولتاژ در نواحی جزیره شده به صورت نامشخصی تغییر می‌کند [۱۲].
- ۳- مشکل دیگر جزیره‌ای شدن ناپایداری فرکانسی است که به دلیل عدم تعادل در تولید و بار، ولتاژ و فرکانس غیر نرمال به وجود آید. بنابراین بر اثر عدم تعادل توان اکتیو در شبکه مقدار فرکانس در سیستم تغییر می‌کند. عدم کنترل فرکانس در شبکه ضربه زیادی به ماشین‌ها و تجهیزات شبکه وارد می‌سازد. در نتیجه اپراتور شبکه قادر به تضمین کیفیت توان در شبکه جزیره‌ای شده نیست.
- ۴- همچنین ممکن است سطح اتصال کوتاه کاهش یابد و لذا رله‌های جریان زیاد نمی‌توانند عملکرد مناسبی داشته باشند و در هنگام دوباره برقرار کردن قسمت‌های بی‌برق ممکن است مشکل امنیت جانی برای پرسنل تعمیرات شبکه بوجود آید.
- ۵- حضور منبع تولید پراکنده می‌تواند باعث ریکلوزر غیرسنکرون شود. زیرا در زمان باز بودن ریکلوزر واحدهای منبع تولید پراکنده ممکن است شتاب بگیرند، یا کند شوند. لذا در لحظه بستن مجدد ریکلوزر، در بدترین حالت ممکن است شبکه اصلی با جزیره بوجود آمده ۱۸۰ درجه اختلاف فاز داشته باشد. این پدیده باعث بوجود آمدن جریان‌ها، ولتاژها و گشتاور گذرای شدیدی می‌شود که خرابی‌های زیادی را در واحدهای منبع تولید پراکنده و دیگر تجهیزات شبکه باعث می‌گردد.

جهت پاک شدن کامل خطا بایستی بین مدت زمان قطع و وصل ریکلوزر، اندک زمانی در نظر گرفته شود. زمان خاموشی مورد نیاز در رله‌های ریکلوزر، معمولاً بین ۱۰۰ms تا ۱۰۰۰ ms می‌باشد. در صورتی که از منابع تولیدپراکنده استفاده گردد، این زمان بایستی افزایش یابد. برخی از مراجع زمان خاموشی ۱s و یا بیشتر را برای سیستم‌های توزیع دارای منابع تولید پراکنده پیشنهاد داده‌اند [۱۲].

۱۳-۳ روش‌های نوین حفاظت

در این فصل، برخی از مشکلات حفاظتی با حضور منبع تولید پراکنده مطرح گردید که تا کنون با برخی از طرح‌های نسبتاً مناسب یا الگوریتم‌های حفاظتی نوین در تعرفه‌های نصب تولیدات پراکنده قادر به مرتفع کردن برخی از این مسائل شده‌اند. هرچند توجه و بررسی بیشتر برای رفع این قبیل مشکلات نیاز به مطالعات بیشتر دارد زیرا میزان استفاده و تاثیر تولیدات پراکنده به سرعت رو به افزایش است. [۳۰]

۳-۱۳-۱- سیستم حفاظت تطبیقی

حفاظت تطبیقی یک سیستم حفاظت لحظه‌ای می‌باشد که بسته به تغییرات موجود در شبکه، سیگنال پاسخ را تغییر می‌دهد. این سیستم معمولاً به صورت اتوماتیک بوده اما می‌تواند به صورت دستی نیز تغییر داده شود. رله‌های تطبیقی نیز به رله‌هایی گفته می‌شود که تنظیمات، مشخصات و توابع منطقی مورد استفاده در آن‌ها به صورت لحظه‌ای توسط وسایل و سیگنال‌های خارجی تغییر داده می‌شود. به بیانی دیگر حفاظت تطبیقی، سیستمی است که بسته به شرایط موجود در شبکه، تنظیمات و مشخصات رله‌های موجود را تغییر می‌دهد [۳۰].

در صورت استفاده از ادوات FACTS در شبکه، استفاده از رله‌های تطبیقی اهمیت بسیار زیادی پیدا می‌کند. چرا که امپدانس خط در کنار حضور این ادوات دچار تغییر می‌شود و در نتیجه عملکرد سیستم حفاظتی با مشکل مواجه می‌شود [۲۶].

در [۲۷] تعدادی از روش‌های حفاظت تطبیقی بیان شده‌اند که از اطلاعات لحظه‌ای سیستم جهت بهینه‌سازی سیستم حفاظتی استفاده می‌شود. یک مورد از این روش‌ها سیستم تطبیقی مبتنی بر مدل‌سازی امپدانس می‌باشد که در این مدل از امپدانس شبکه به عنوان اطلاعات ورودی رله‌ها استفاده می‌شود. در [۲۹] پیشنهاد شده‌است از اندازه‌گیری همزمان ولتاژ شین‌ها و جریان خطوط به عنوان اطلاعات مرجع برای رله‌های تطبیقی در تعیین زمان عملکرد رله‌ها و نیز تعیین زمان وصل

مجدد واحدهای منبع تولید پراکنده که پس از وقوع خطا از مدار خارج شده بودند استفاده گردد. که در [۲۹] مورد آزمایش قرار گرفته است.

مطالعات نشان داده است که اختلاف نتایج به دست آمده بین حفاظت سنتی و حفاظت تطبیقی رله‌ها در حدود ۱۰٪ می باشد که این میزان نشان دهنده میزان کارایی حفاظت تطبیقی در حفاظت از شبکه های قدرت می باشد.

۳-۱۳-۲- اندازه گیری همزمان فازوری

حالت سیستم قدرت با استفاده از واحد اندازه گیری فازورها (PMU) مشخص نمود. این واحدهای اندازه گیری به صورت همزمان ولتاژ ترمینال ها و جریان خطوط را در فاصله های زمانی کمتر از ۲۰ ms اندازه گیری می کند. هماهنگ سازی فازورها توسط سیستم موقعیت یاب جهانی (GPS) صورت می پذیرد.

در برخی از سیستم های حفاظتی که به سیستم های حفاظتی گسترده معروف هستند، ولتاژ و جریان اندازه گیری شده به یک کامپیوتر مرکزی ارسال می شود و در آنجا از این اطلاعات جهت نخمین حالت، حفاظت و بهینه سازی عملیات بهره برداری سیستم استفاده می شود. چنین سیستم هایی دارای قابلیت های بسیار زیادی جهت حفاظت و کنترل می باشند. در [۳۲] ساختارهای مختلف حفاظت گسترده مورد بحث قرار گرفته است. در این مرجع سعی شده است از اطلاعات PMU ها جهت حفاظت تطبیقی سیستم استفاده گردد. در [۲۶] سعی شده است از سیستم حفاظت گسترده جهت حفاظت دیستانس و حفاظت اضافه جریان استفاده شود. نتایج استفاده از این سیستم های حفاظتی با حفاظت معمول موجود در شبکه مورد مقایسه قرار گرفته است در پایان نیز راه حل هایی جهت استفاده از سیستم های حفاظتی گسترده پیشنهاد شده است.

یکی از کاربردهای اندازه گیری همزمان می تواند تشخیص نواحی جزیره شده باشد. اطلاعاتی که از واحدهای PMU نصب شده در دو سمت نواحی کوپل شده به دست می آید می تواند جهت مقایسه لحظه ای فازورها مورد استفاده قرار گیرد، که یک نوع خاص از حفاظت تفاضلی می باشد. از آنجا که واحدهای PMU بسیار گران قیمت می باشند، استفاده از این روش در شبکه های توزیع توجیه اقتصادی چندانی ندارد.

۳-۱۳-۳- سیستم‌های هوشمند

سیستم‌های هوشمند سیستم‌هایی هستند که بر اساس روش‌های مبتنی بر هوش مصنوعی جهت آموزش و یادگیری اجزای موجود در شبکه مورد استفاده قرار می‌گیرند. در [۲۶] و [۲۷] از شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN) جهت کنترل و مدیریت منابع تولید پراکنده استفاده شده‌است. در [۱۲] از این تکنیک جهت آموزش و بهبود عملکرد رله‌های دیستانس استفاده شده‌است. رله‌های دیستانس می‌توانند به گونه‌ای آموزش ببینند که برخلاف رفتار معمول خود در محدوده دایره‌ای شکل خود، خطای امیدانس بالا را نیز آشکار کنند. این مرجع نشان داده‌است که قابلیت اطمینان سیستم حفاظتی با استفاده از این روش بهبود چشم‌گیری پیدا می‌کند.

۳-۱۳-۴- استفاده از تبدیل موجک

یکی از کاربردهای بسیار مهم تبدیل موجک هنگامی بوجود آمد که مشخص شد این تبدیل برای استفاده در مهندسی برق بسیار مناسب است. در [۳۳] تحقیق بسیار مناسبی بر روی زمینه‌های کاربرد تبدیل موجک در سیستم‌های قدرت صورت گرفته‌است. در این تحقیق موارد متعددی از کاربرد تبدیل موجک در سیستم‌های قدرت مشخص شده‌است. موارد استفاده تبدیل موجک در بحث حفاظت از سیستم‌های قدرت را می‌توان به صورت زیر دسته‌بندی نمود.

(۱) آشکار سازی خطا

(۲) استخراج مشخصه‌های سیگنال خطا

(۳) دسته بندی خطاها

(۴) محل یابی خطاها

کاربردهای این تبدیل در بحث حفاظت از سیستم‌های قدرت به صورت بسیار متنوعی گسترش یافته و روز به روز نیز بر محبوبیت این روش افزوده می‌گردد. توانایی تبدیل این تبدیل برای به دست آوردن دقت‌های متغیر در حوزه زمان و فرکانس، باعث توجه محققان بسیار زیادی گردیده‌است. در [۳۴] روش مناسبی برای آشکار سازی خطا و تعیین فاصله آن با استفاده از تبدیل موجک ارائه شده‌است. در این روش با اندازه‌گیری فازورهای ولتاژ و جریان و تئوری حفاظت دیستانس، و محل خطا تعیین می‌گردد. در [۳۴] الگوریتمی پیشنهاد شده‌است که در آن با تغییر بسیار مختصر در نحوه عملکرد تبدیل موجک، دقت تخمین فازورها به صورت قابل ملاحظه‌ای بهبود یافته‌است.

با توجه به گسترش روز افزون ادوات دیجیتالی در سیستم‌های قدرت و نیاز به یک ابزار مناسب جهت پردازش سیگنال‌های گسسته، این تبدیل در آینده نه چندان دور جای اکثر روش‌های سنتی موجود در این سیستم‌ها را خواهد گرفت.

فصل ۴. معرفی راهکارهای ارائه شده تاکنون

فیدرهای شعاعی توزیع به طور عمده از پست‌های قدرت که به عنوان تامین کننده توان مصرف کنندگان می‌باشند، تغذیه می‌شوند. جریان شعاعی توان در فیدرها اساس استفاده از تجهیزات حفاظتی ساده نظیر ریکلوزر و فیوز را فراهم می‌کند. این تجهیزات حفاظت جریان زیاد با اندازه‌گیری جریان فاز کار می‌کنند و در طول اغتشاشات سیستم و برای پیوستگی تامین توان مشتریان با یکدیگر هماهنگ می‌شوند. وقتی یک منبع تولید پراکنده در انتهای یک فیدر سه فاز قرار گیرد، تنظیمات فیدر شعاعی از دست می‌رود. بعنوان نمونه هنگامی که یک خطا گذرا است، حفاظت جریان زیاد ممکن است منجر به خروج دائم شود. در این فصل به منظور حضور تولید پراکنده، روش هایی برای بازبینی تمهیدات حفاظت جریان زیاد فیدرهای شعاعی ارائه می‌گردد. نخستین روش این است که فیوز مربوط به فیدرهای با تولید پراکنده برداشته شده و ریکلوزری برای رفع سه مسئله خاص حفاظت فیوز اضافه می‌گردد. [۳۷] روش مذکور نیازی به بستر مخابراتی ندارد، همچنین حفاظت پشتیبان برای واحد تولید پراکنده و نیز به سایر فیدرها اجازه می‌دهد تا با تجهیزات حفاظتی خودشان بدون قطعی حفظ شوند. به منظور ارزیابی روش های پیشنهادی از تست روی فیدر شعاعی نمونه استفاده شده- است. روش مذکور عملکرد ناقص و مسائل مخرب ذوب فیوز و نیز مسائل خستگی فیوز را که در فیدرهای شعاعی موجود است، به طور کامل کاهش خواهد داد.

۴-۲ حفاظت جریان زیاد فیدرهای شعاعی با فلسفه حفظ فیوز^۱

منابع تولید پراکنده می‌تواند در نقاط دور بر روی فیدرها و یا در مجاورت بارها نصب شوند و به عنوان یک گزینه دائمی برای افزایش ظرفیت پست و فیدر بکار گرفته شوند. تغییر ماهیت شعاعی فیدرها بواسطه حضور منبع تولید پراکنده چالش بزرگی محسوب می‌گردد. زیرا هماهنگی بین تجهیزات حفاظتی جریان زیاد روی فیدرها برای خطاهای دائمی و گذرا از بین می‌رود. افزودن منبع تولید پراکنده به این معناست که جریان نامی و جریان خطا بین فیدر تغذیه کننده و منبع تولید پراکنده تقسیم می‌شود. از این رو جریان بار و جریان خطای عبوری از تجهیزات حفاظتی جریان زیاد ممکن است کاهش یا افزایش یابد و یا تغییری نکند. این تغییرات ممکن است در انتخاب مناسب تجهیزات حفاظتی جریان زیاد موثر باشد و قابلیت اطمینان طرح‌های حفاظت جریان زیاد را نیز کاهش دهد.

1- Fuse Saving philosophy

در این فصل سه موضوع با مطالعات شبیه‌سازی بر روی فیدرهای شعاعی با وجود منبع تولید پراکنده مورد توجه قرار خواهد گرفت که این سه موضوع شامل خستگی فیوز، اثر مخرب ذوب فیوز و عملکرد ناقص فیوز می‌باشد. فرسودگی فیوز هنگامی رخ می‌دهد که فیوز قبل از عملکرد سریع ریکلوزر در مرحله ذوب قرار می‌گیرد چنین عملکردی، به نظر نمی‌رسد که منجر به خروج دائمی فیدر گردد. ذوب مخرب فیوز نیز با ذوب فیوز قبل از عملکرد سریع ریکلوزر رخ می‌دهد که در نتیجه به خروج دائمی فیدر جانبی منجر می‌شود. در عملکرد ناقص نیز فیوز نادرست عمل می‌کند و خط سالم را جدا می‌کند. که وقوع این موارد ممکن است باعث خروج دائمی و در نتیجه جزیره‌ای شدن در طول خطای گذرا شود.

در فصل سوم چندین شیوه برای بهبود شرایط عملکرد تجهیزات حفاظتی جریان زیاد بر روی یک فیدر شعاعی در حضور منبع تولید پراکنده پیشنهاد گردید. تاکید این روشها بر روی کاهش عدم هماهنگی میان ریکلوزرها و فیوزهای روی فیدر با منبع تولید پراکنده بود. همچنین در مورد ظرفیت ماکزیمم منبع تولید پراکنده که در آن هماهنگی میان ریکلوزرها و فیوزهای موجود در یک فیدر برقرار بماند نیز بحث گردید. این روش شامل معادلات ریاضی تجهیزات حفاظتی جریان زیاد بود که ظرفیت ماکزیمم واحد منبع تولید پراکنده را معین کرد. به هر حال فیوزهای موجود در فیدرها با منحنی‌های متفاوتی مشخص می‌شود که در نتیجه معین کردن یک معادله برای همه فیوزهای موجود روی فیدر را مشکل می‌نماید.

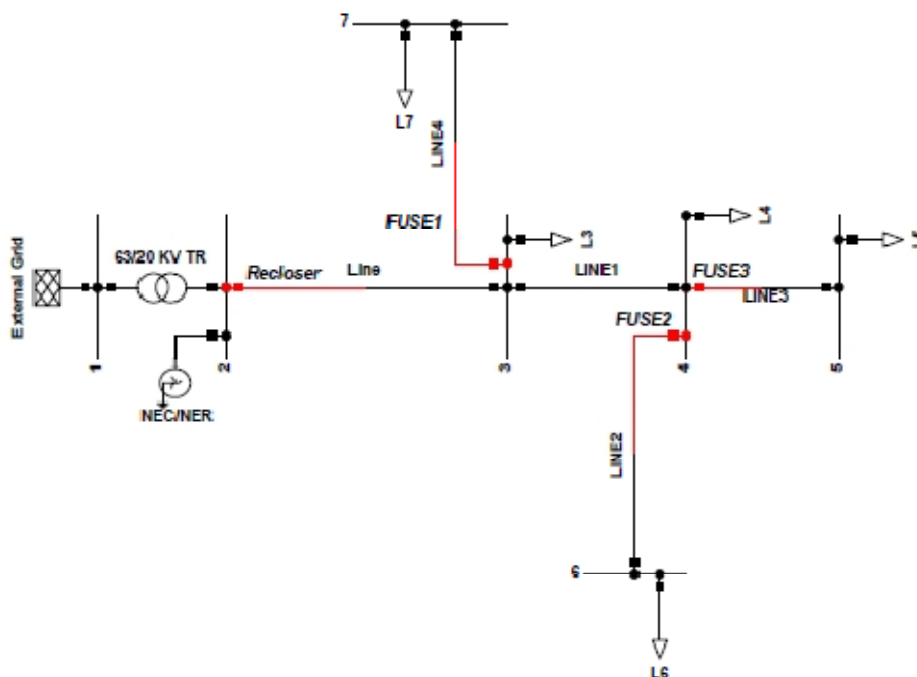
روشی که در این فصل ارائه می‌گردد بر اساس فلسفه حفظ فیوز در حفاظت جریان زیاد می‌باشد و شامل افزودن ریکلوزر و رله بر روی فیدر شامل منبع تولید پراکنده است. [۳۷] ریکلوزر چند منظوره به جای فیوز بر روی فیدر شامل منبع تولید پراکنده نصب می‌شود. در حالی که رله‌ای نیز در محل اتصال منبع تولید پراکنده به فیدر افزوده می‌شود. تجهیزات چند منظوره با ریکلوزرهای موجود در پست‌ها هماهنگ می‌شوند تا هماهنگی کافی با دیگر تجهیزات حفاظتی جریان زیاد برقرار گردد. در این شیوه تنظیمات باقی فیوزها و ریکلوزرهای موجود در فیدر بدون تغییر باقی می‌ماند.

در فیدرهای شبکه توزیع، بیشتر از ۸۵٪ خطاها اساساً گذرا هستند و در سیکل‌های بسیار کوتاهی به خودی خود رفع می‌گردند. مدت خطا در [۱۱]، [۱۲] و [۸] در حدود ۰.۵ تا ۱۰ سیکل گزارش شده‌است. موضوع حفاظت جریان زیاد در فیدرهای شعاعی حفظ تداوم سرویس در طول یک خطاست که از طریق مینیمم کردن قطع توان به یک منطقه محدود می‌باشد. در این الگو، ریکلوزر به عنوان حفاظت اولیه فیدر اصلی و فیوز به عنوان حفاظت اولیه فیدرهای فرعی می‌باشند. ریکلوزر به هنگام رفع خطای زود گذر و ایزوله کردن یک خطای دائمی عمل می‌نماید. برای این منظور، یک ریکلوزر را

می‌توان به گونه‌ای برنامه ریزی کرد که در چندین مرحله زمانی به صورت کند (S) و یا تند (F) عمل نماید. فیوزها برای ایزوله کردن خطای دائمی عمل می‌کنند و مشخصات آنها با MM و TC تعریف می‌گردد. عملکرد این دو تجهیز بر اساس منحنی‌های مشخصه آنها در فصل دوم ارائه شده‌است.

شکل (۱-۴) بخشی از یک فیدر توزیع نوعی را نمایش می‌دهد که دارای تجهیزات حفاظت جریان زیاد است. فیدر اصلی ۳ فاز است و شامل یک ریکلوزر ۳ فاز (REC) به عنوان حفاظت اولیه می‌باشد. فرض می‌شود که فیدرهای فرعی ۳ فاز هستند و هر یک از آنها نیز با ۳ فیوز تکفاز حفاظت می‌شوند. در این مورد، فیوز ۱ و ۲ هر کدام یک فاز را حفاظت می‌کنند.

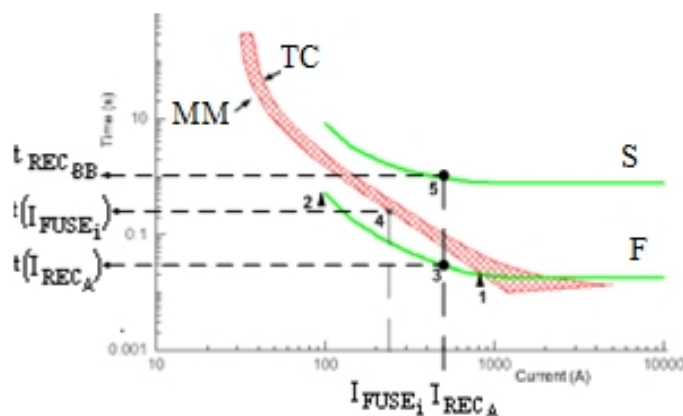
هر فیوز روی فیدرهای فرعی با توجه به بارگذاری فیدر می‌تواند دارای اندازه‌های یکسان و یا متفاوتی باشند. ریکلوزرها برای خطاهای گذرا و دائمی روی فیدر با یکدیگر هماهنگ می‌شوند. اگر خطایی در موقعیت نشان داده شده در شکل (۱-۴) اتفاق بیافتد، جریان از طریق ریکلوزر (I_{REC}) و فیوز (I_{FUSE2}) از سمت پست تغذیه می‌شود. بنابراین جریان I_{REC} بزرگتر از I_{FUSE2} خواهد شد. فیوز شماره ۲ به عنوان حفاظت اولیه باید خطای دائمی را ایزوله نماید در غیر این صورت ریکلوزر به عنوان پشتیبان عمل می‌نماید. [۳۲] و [۳۴]



شکل (۱-۴): بخشی از یک فیدر شعاعی نمونه با ریکلوزر و فیوز

شکل (۲-۴) یک نمونه از منحنی‌های F و S-S یک ریکلوزر و منحنی TC و MM برای فیوز را نشان می‌دهد که بدرستی برای حفظ عملکرد فیوز که در شکل ۱ نشان داده شده‌است هماهنگ

شده‌اند. نقاط ۱ و ۲ حد جریان مینیمم و ماکزیمم (I_{FMIN} & I_{FMAX}) را معین می‌کند که بین REC و فیوز شماره ۲ قرار دارد. برای خطای دائمی (فرض می‌شود یک خطای L-L-L-G روی یک فیدر فرعی) که در شکل (۱-۴) نشان داده شده‌است، نقطه ۳ جریانی را که توسط ریکلوزر I_{REC} دیده می‌شود بر روی منحنی A نمایش می‌دهد و نقطه ۴ جریانی را که توسط $FUSE_2$ دیده می‌شود را نمایش می‌دهد. شکل ۲ نشان می‌دهد که $t(I_{REC})$ کمتر از $t(I_{FUSE2})$ خواهد شد که هماهنگی مناسب تجهیزات برای رفع یک خطای گذرای بالقوه را نشان می‌دهد. زمانی که یک خطا دائمی باشد ریکلوزر بریکر مربوط به خود را پس از مدت معینی که باز بود، می‌بندد. نقطه شماره ۵ جریانی که ریکلوزر روی منحنی S-S می‌بیند را نشان داده‌است. شکل (۲-۴) نشان می‌دهد که مدت زمان عملکرد مربوط به (I_{FUSE2}) از مدت زمان عملکرد متناظر با $(I_{REC\ S-S})$ برای خطای مربوطه کمتر است که نشان‌دهنده هماهنگی مناسب تجهیزات برای جداسازی خطای دائم است. [۳۶] و [۳۸]



شکل (۲-۴): هماهنگی میان ریکلوزر و فیوز در یک فیدر شعاعی

قوانین هماهنگی فیوز و ریکلوزر در یک طرح حفاظت جریان زیاد با فلسفه حفظ فیوز بصورت زیر بیان می‌شود:

قانون ۱: برای تمامی مقادیر جریان خطای عبوری از فیوز مورد بحث، زمان عملکرد فیوز $t(I_{FUSE})$ می‌بایست از زمان عملکرد سریع ریکلوزر بزرگتر باشد.

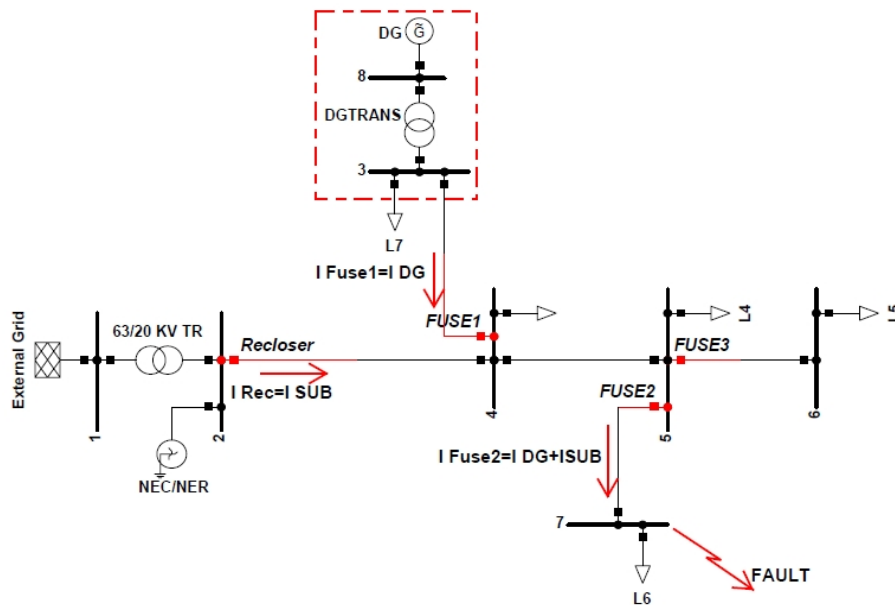
$$t(I_{FUSEi}) > t(I_{RECA}) ; \forall I_{FUSEi} \begin{cases} I_{fmin i} \leq I_{FUSEi} \leq I_{fmax i} \\ I_{fmin i}, I_{fmax i} > 0 \end{cases} \quad (1-4)$$

قانون ۲: برای مقادیر جریان خطای عبوری از فیوز، حداکثر زمان رفع خطای فیوز $t(I_{FUSE})_{TC}$ می‌بایست از زمان عملکرد با تاخیر فیوز t_{REC_SS} کمتر باشد. [۳۶]

$$t(I_{REC_BB}) > t(I_{FUSE\ i})_{MC} ; \forall I_{FUSE\ i} \begin{cases} I_{f\ min\ i} \leq I_{FUSE\ i} \leq I_{f\ max\ i} \\ I_{f\ min\ i}, I_{f\ max\ i} > 0 \end{cases} \quad (۲-۴)$$

۳-۴ مباحث حفاظت جریان زیاد در فیدر شعاعی با حضور منبع تولید پراکنده

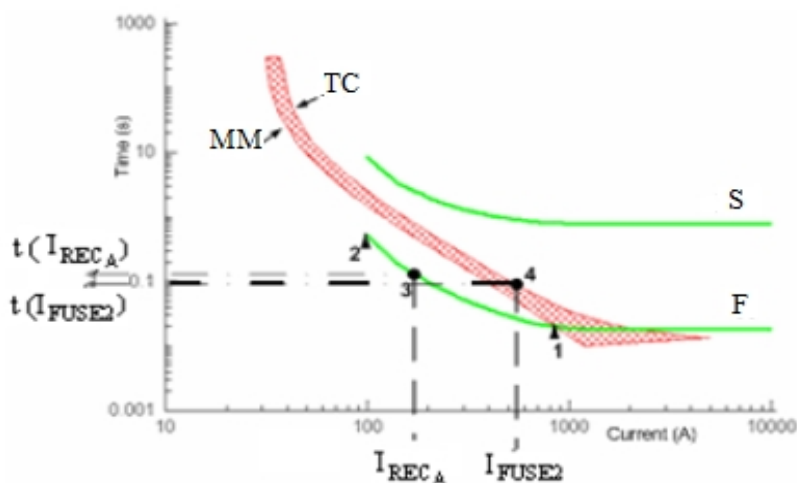
اکنون فرض می‌شود که منبع تولید پراکنده به خط مشخص شده در شکل (۳-۴) متصل باشد. سه موضوع در ارتباط با فیوز شامل فرسودگی فیوز، اثر مخرب ذوب فیوز و عملکرد ناقص فیوز می‌باشد، که عامل این موضوعات پخش جریان خطا از سمت منبع تولید پراکنده و پست است. فرسودگی فیوز هنگامی رخ می‌دهد که فیوز قبل از عملکرد سریع ریکلوزر در شرف ذوب قرار می‌گیرد [۳۶]. چنین عملکرد فیوز، ممکن نیست منجر به خروج دائمی فیدر در طول خطا شود. ذوب مخرب فیوز هنگامی رخ می‌دهد که فیوز قبل از عملکرد سریع ریکلوزر ذوب گردد. نتیجه این حادثه یک خروج دائمی در فیدر جانبی خطا دیده می‌باشد [۳۸]. اگر یک خطا همانند شکل (۳-۴) بوجود آید، $FUSE_1$ ممکن است نادرست عمل کند و خط سالم را ایزوله نماید. این موضوع به عنوان عملکرد ناقص فیوز معرفی می‌گردد [۳۲]. عملکرد ناقص فیوز بدلیل تغذیه جریان از سمت منبع تولید پراکنده به سمت خطایی است که خارج از محدوده فیدر جانبی حفاظت شده توسط فیوز قرار دارد. عملکرد انفرادی یک فیوز ممکن است باعث نامتعادلی در دیگر فازهای سالم شده و در بدترین حالت، وقوع این موارد ممکن است باعث خروج دائمی بی‌مورد و در نتیجه جزیره‌ای شدن در طول خطای گذرا شود.



شکل (۳-۴): بخشی از یک فیدر شعاعی نمونه با یک منبع تولید پراکنده و ریکلوزر و فیوز

مطالعات نشان می‌دهد که فرسودگی فیوز و اثر مخرب ذوب فیوز به میزان کل نفوذ منبع تولید پراکنده ها و مکان‌شان بستگی دارد در حالیکه عملکرد ناقص فیوز به تعداد واحدهای منبع تولید پراکنده در مکان‌های مختلف روی فیدر وابسته است. [۳۷],[۳۸]

در شکل (۴-۴) همانند شکل (۲-۴) منحنی‌های F-F و S-S نشان داده شده است. نقاط ۱ و ۲ محدوده جریان مینیمم و ماکزیمم را برای حفظ هماهنگی میان FUSE2 و REC نشان می‌دهند. برای خطای دائمی ۳ فاز بر روی فیدر جانبی که در شکل (۳-۴) نشان داده است، نقطه ۳ روی منحنی A جریانی را که توسط ریکلوزر I_{RECA} دیده می‌شود، و نقطه ۴ جریان دیده شده توسط FUSE₂ را نشان می‌دهند. در شکل (۴-۴) ملاحظه می‌شود که زمان عملکرد (I_{FUSE2}) از t(I_{REC}) برای خطایی که اثر ذوب مخرب فیوز را نمایش می‌دهد. کمتر است. حتی این عملکرد زمانی که FUSE₂ خطای دائمی پایین‌دست خودش را ایزوله می‌کند درست بنظر می‌رسد. ولی اگر خطا گذرا باشد این عملکرد نادرست خواهد بود زیرا یک خروج دائمی ناخواسته و بی جا را باعث می‌شود.



شکل (۴-۴): عدم هماهنگی میان ریکلوزر و فیوز

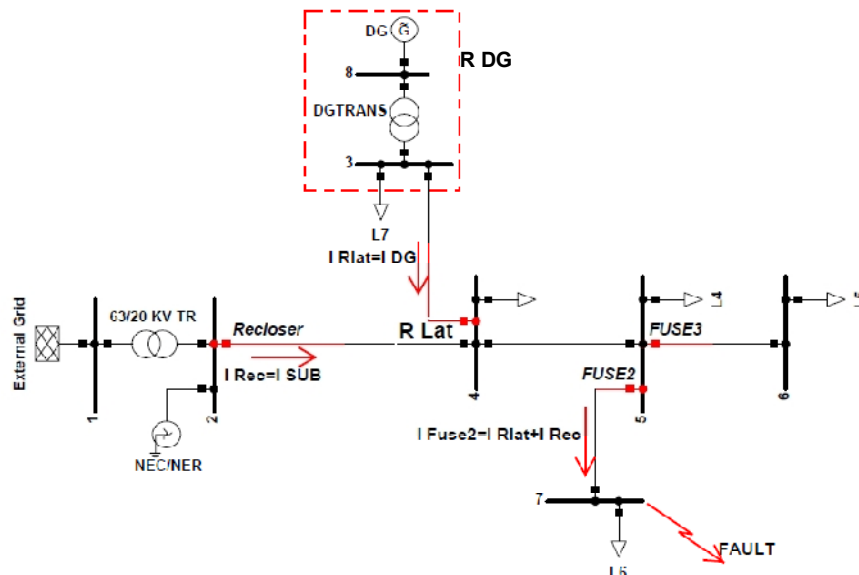
بنابراین موضوع روش های پیشنهادی ایجاد راه حلی برای سه موضوع شناخته شده در بررسی های اخیر می باشد، که عبارتند از: فرسودگی فیوز، اثر مخرب ذوب فیوز و عملکرد ناقص فیوز. در این روش فرض می شود که یک واحد منبع تولید پراکنده (با سطح نفوذ بیش از مجموع بار فیدر) به یک فیدر شعاعی مجهز به یک ریکلوزر در فیدر اصلی و فیوزهای فرعی افزوده گردد، که در این فیدر طرح حفاظت جریان زیاد با حفظ تقدم عملکرد فیوز فرض می شود. هم چنین فرض می شود که منبع تولید پراکنده از طریق یک ترانسفورماتور توزیع به انتهای یک فیدر جانبی سه فاز متصل می گردد تا ظرفیت فیدر را افزایش دهد و نیز به حفاظت اولیه مجهز شده است. هم چنین در این روش فرض می شود که جزیره های شدن طولانی مدت بیش از یک ثانیه میان منبع تولید پراکنده و فیدر امکان ندارد.

۴-۴ اعمال روشی برای حفاظت جریان زیاد با حفظ فیوز

این روش شامل جابجایی فیوز با ریکلوزر در فیدرهای جانبی است که یک واحد منبع تولید پراکنده در آن نصب شده است و در نقطه اتصال منبع تولید پراکنده یک رله قرار گرفته است. هدف اصلی در این روش برطرف نمودن مسائل شناسایی شده فیوز در حفاظت جریان زیاد با در نظر گرفتن حداقل تغییرات در شبکه می باشد. [۳۷]

در شکل (۴-۵) کاربرد این روش در فیدر شکل (۴-۳) بررسی می گردد. در این شکل برخی تغییرات حفاظتی در فیدر جانبی که منبع تولید پراکنده در آن نصب شده است رخ می دهد که شامل حفاظت سیستم، حفاظت نقطه اتصال و حفاظت واحد منبع تولید پراکنده می باشد. یک ریکلوزر سه

فاز (RLAT) جایگزین سه فیوز تکفاز (FUSE1) که به عنوان حفاظت اولیه فیدر جانبی اند، می‌شود. از یک رله (R_{DG}) در گره ۳ (نقطه اتصال) فیدر جانبی و نیز از حفاظت دیفرانسیل (87TG) در اولیه و ثانویه ترانسفورماتور اتصال دهنده منبع تولید پراکنده استفاده می‌شود که همگی با ریکلوزر فیدر اصلی هماهنگ می‌گردند.



شکل (۴-۵): فیدری شعاعی با منبع تولید پراکنده با ریکلوزر و فیوز و تجهیزات افزوده شده

۵-۴ تغییرات حفاظت سیستم

در تغییرات حفاظت سیستم سه فیوز تکفاز فیدر جانبی مجهز به منبع تولید پراکنده، با یک ریکلوزر که جابه جا می‌گردد. ساختار ریکلوزر فیدر جانبی بر اساس F-S می‌باشد. عملکرد سریع ریکلوزر فیدر جانبی به جریان تغذیه از سمت منبع تولید پراکنده به سمت محل خطا بستگی دارد که بنابراین از ذوب مخرب فیوز جلوگیری خواهد کرد. به همین منظور ریکلوزر فیدر جانبی با ریکلوزر فیدر اصلی هماهنگ می‌گردد که از طریق روش مرکب انجام می‌شود. عملکرد سریع ریکلوزر فیدر جانبی تضمین می‌کند که بلافاصله پس از هر خطا روی فیدر، منبع تولید پراکنده قطع نگردد. در نتیجه قابلیت اطمینان فیدر افزایش می‌یابد. در ریکلوزر جانبی از المان‌های 51N و 51P برای حفاظت خطای فاز و زمین استفاده شده است [۳۶]، [۳۷]، [۳۸]

هدف اولیه از حفاظت ناحیه اتصال، جلوگیری از جزیره‌ای شدن است. رله (R_{DG}) در محل اتصال قرار گرفته است، تا هنگامی که منبع تولید پراکنده به صورت موازی با فیدر عمل نمی‌کند ایزوله گردد [۳۹]. این شرایط ممکن است مدت زمان تاخیر ریکلوزر فیدر را افزایش دهد و باعث جزیره‌ای شدن

طولانی مدت بیش از یک ثانیه شود [۲۱] و [۳۹]. ایزوله کردن منبع تولید پراکنده جهت اجتناب از جزیره‌ای شدن طولانی ایمنی سیستم را تضمین و از آسیب به منبع تولید پراکنده و ریکلوزر فیدر جلوگیری می‌کند [۳۹].

رله محل اتصال که از المان‌های 51P و 51N می‌باشد، ایزوله‌سازی سریع واحد منبع تولید پراکنده را باعث می‌گردد. هماهنگی المان 51N با منحنی تاخیری ریکلوزر از طریق هماهنگی منبع و بار به دست می‌آید که در [۳۸] بحث شده است.

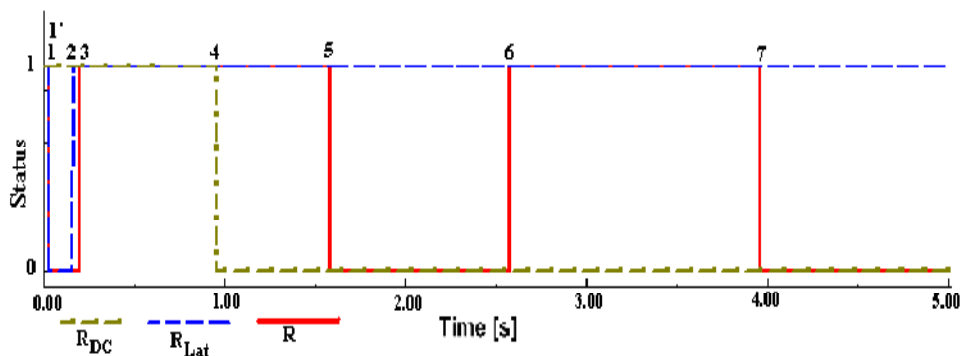
واحد منبع تولید پراکنده، شامل ژنراتور و ترانسفورماتور Δ -yn است که معمولاً به یک حفاظت اولیه از سمت متصدی تجهیزات (کارپرداز) تجهیز گردیده است. [۳۸]. افزودن حفاظت دیفرانسیل به منبع تولید پراکنده نیز آنرا در برابر خطاهای سمت اولیه و یا ثانویه ترانسفورماتور ایزوله می‌کند.

۶-۴ هماهنگی تجهیزات حفاظتی افزوده شده

در این بخش راجع به هماهنگی حفاظت جریان زیاد موجود با تجهیزات حفاظتی جریان زیاد افزوده شده در روش پیشنهادی، برای بدترین شرایط خطا (گذرا یا دائمی) بحث شده است. اگر بتوان در طول بدترین نوع خطا هماهنگی میان حفاظت جریان زیاد و تجهیزات حفاظتی جریان زیاد را برقرار کرد تا مسائل مطرح شده در حفاظت جریان زیاد کاهش یابد، می‌توان فرض کرد که در دیگر شرایط خطا این مسائل قابل کاهش است. ریکلوزر جانبی و رله اتصال در حالتی که هر سه فاز همزمان در هنگام خطا قطع شوند، به صورت سه فاز عمل می‌نماید.

هنگامی که یک خطا روی فیدر اصلی رخ می‌دهد، ریکلوزر فیدر، ریکلوزر جانبی و رله اتصال برای پاک کردن و جدا سازی خطا عمل خواهند کرد. در شکل (۴-۶) محور عمودی وضعیت تجهیزات حفاظتی جریان زیاد ("۰" برای باز و "۱" برای بسته)، و محور افقی مدت شبیه سازی را بر حسب ثانیه نشان می‌دهد. در شکل (۴-۶)، ریکلوزر فیدر (R) و ریکلوزر جانبی (R_{lat}) در صورتی که خطا گذرا باشد بر روی منحنی سریع خود عمل می‌نماید. نقاط ۱ و ۲ عملکرد سریع ریکلوزر جانبی (باز یا بسته) و نقاط ۱ و ۳ عملکرد ریکلوزر فیدر را نشان می‌دهند. وضعیت هر دو ریکلوزر فیدر در طول این دوره از ۱ به ۰ و مجدداً به ۱ تغییر خواهد کرد. در طول عملکرد هر دو ریکلوزر، منابع تولید پراکنده به صورت موازی با فیدر جانبی باقی می‌ماند. با یک خطای دائمی، R_{DG} عمل میکند (با نقطه ۴ نشان داده شده است) تا واحد منابع تولید پراکنده قبل از اینکه ریکلوزر فیدر شروع به اولین عملکرد با تاخیر خود (که با نقطه ۵ نشان داده شده است) کند، را ایزوله نماید. عملکرد رله اتصال از جزیره‌ای شدن بلند مدت منابع تولید پراکنده جلوگیری می‌کند. ریکلوزر فیدر سپس با دو عملکرد با تاخیر

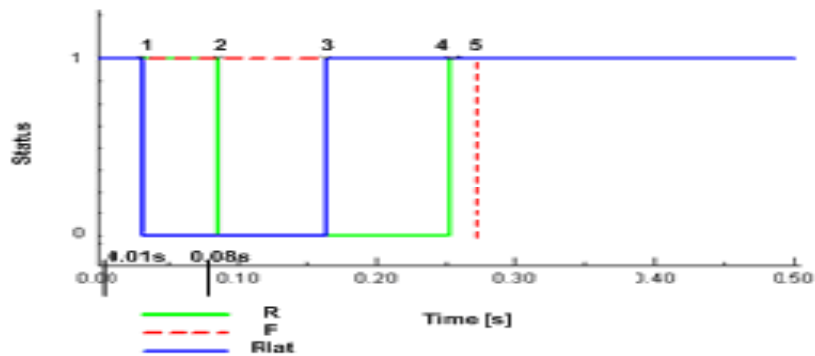
معرفی می‌گردد که شامل نقطه ۵-۶ (باز و بسته) و ۷ (باز یا قفل) است که بعد از اینکه ریکلوزر در حالت قفل قرار گرفت فیدر ایزوله خواهد شد.



شکل (۴-۶): هماهنگی با استفاده از روش مذکور برای خطاهایی که در فیدر اصلی رخ می‌دهند [۳۷]

شکل (۴-۷) هماهنگی تجهیزات حفاظتی برای خطایی روی هر یک از فیدرهای جانبی، فیدر اصلی که شامل فیدر جانبی با منابع تولید پراکنده نیز است، می‌باشد. دوباره، محور عمودی وضعیت تجهیزات حفاظتی جریان زیاد را نشان می‌دهد («۰» برای باز و «۱» برای بسته) و محور افقی طول دوره شبیه سازی را بر حسب ثانیه می‌دهد. برای یک خطای گذرا با مدت زمان ۴ سیکل (از ۰.۰۱ ثانیه تا ۰.۰۸ ثانیه)، ریکلوزر فیدر و ریکلوزرهای جانبی بر روی منحنی سریع خود عمل می‌کنند تا خطارا از میان ببرند. برای شکل (۴-۷) نقاط ۱ و ۳ عملکرد ریکلوزر جانبی را در حالت باز و بسته بیان می‌کنند در حالی که نقاط ۲ و ۴ عملکرد ریکلوزر فیدر را نشان می‌دهند. شکل (۴-۵) عملکرد فیوز برای ایزوله کردن خطای دائمی را نشان می‌دهد. ریکلوزر فیدر به عنوان تجهیز پیش‌تیبان فیوز است، در حالیکه فیوز قادر به رفع خطا نباشد.

در این شکل ریکلوزر بر روی منحنی تاخیر خود عمل نمی‌کند و این در صورتی است که فیوز در ابتدا خطا را از میان ببرد. اگر خطا بر روی فیدر جانبی با منابع تولید پراکنده اتفاق افتاده باشد، ریکلوزر جانبی تنها بر روی منحنی تاخیری عمل می‌کند.



شکل (۴-۷): هماهنگی با استفاده از روش مذکور برای خطاهایی که بر روی فیدرهای جانبی اند [۳۷]

در حالتی که خطای دائمی بر روی فیدر جانبی با منابع تولید پراکنده رخ دهد، ریکلوزر جانبی به همراه رله اتصال بر روی منحنی تاخیرش عمل خواهد کرد تا فیدر جانبی خطا دیده را ایزوله نمایند (در صورتی که این دو به عنوان تجهیزات حفاظتی فیدر جانبی باشند). بازه زمانی هماهنگی (CTI) دو تجهیز حفاظتی در محدوده ۰.۲ ثانیه قرار دارد [۳۸].

برای خطاهای روی منابع تولید پراکنده، رله دیفرانسیل برای عمل در تمامی خطاهایی که میان منابع تولید پراکنده و ترانسفورماتور در ناحیه حفاظتی رله رخ می‌دهد، تنظیم می‌گردد [۴۱]. فصل بعدی فیدر مورد آزمایش، که این روش بر روی آن اجرا شده است را شرح می‌دهد.

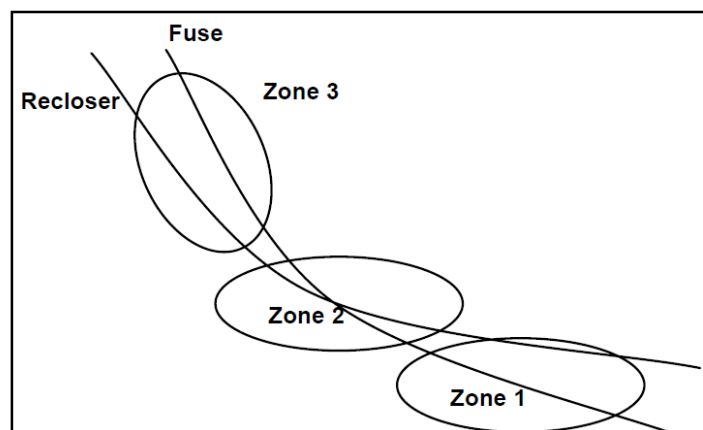
برای رهایی کامل از اثر مخرب منابع تولید پراکنده بر عملکرد فیوز می‌بایست چاره‌ای اندیشید. از آنجایی که وقوع فرسودگی فیوز با حضور منبع تولید پراکنده امری اجتناب‌ناپذیر است، بنابراین بعد از پیاده‌سازی این روش و کاهش احتمال بروز فرسودگی فیوز، الگوریتمی جهت شناسایی « فیوزهای تحت خطر^۱ » مورد نیاز می‌باشد. به عنوان مثال فیوز F3 در صورت بروز خطای سه فاز در ۱۰ درصد ابتدای خط هوایی کاملاً در معرض خطر عملکرد همزمان با ریکلوزر اصلی فیدر و نیز فرسودگی فیوز قرار می‌گیرد. بنابراین تهیه و اجرای الگوریتمی به منظور رفع این مشکل ضرورت بالایی خواهد داشت.

فصل ۵. ارائه روش پیشنهادی و موارد مطالعاتی

۱-۵ معرفی الگوریتم پیشنهادی جدید برای حذف اثر فرسودگی فیوز

اعمال روش فوق و عدم حذف کامل مسائل مربوط به خستگی فیوز نکته‌ای مورد توجه و حائز اهمیت می‌باشد. از آنجایی که وقوع مساله فرسودگی فیوز بواسطه حضور منابع تولید پراکنده به یک فیدر شعاعی امری اجتناب ناپذیر در حفاظت سیستم توزیع می‌باشد، بنابراین علاوه بر اعمال روش فوق و کاهش بروز آن، الگوریتمی جامع به منظور حذف کامل اثر حضور منابع تولید پراکنده بر حفاظت جریان زیاد فیدرهای شعاعی مورد نیاز می‌باشد.

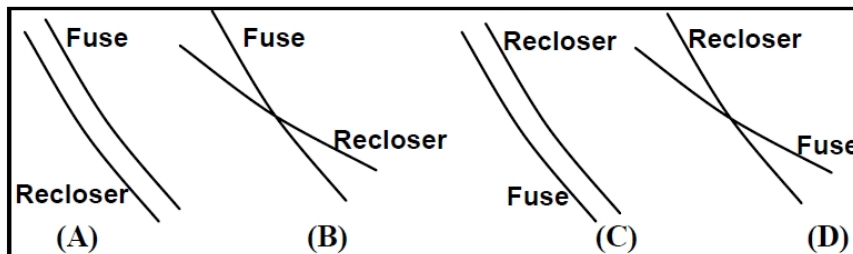
الگوریتم مورد نظر در محیط برنامه نویسی نرم افزار DigSilent پیاده‌سازی شده‌است. زبان برنامه نویسی مورد استفاده در این نرم افزار DPL بوده که به فرمت زبان برنامه نویسی C می‌باشد. اصلی-ترین رکن این الگوریتم محاسبه ی پارامتر «زمان رفع خطا»^۱ برای هر تجهیز حفاظتی جریان زیاد در شبکه می باشد. به گونه‌ای که محاسبات اتصال کوتاه برای تمامی فیدر های جانبی برای هر فیدر جانبی بدترین و خفیف ترین حالت ممکن به ترتیب انجام میشود و با مقایسه ی زمان رفع خطای مربوط به فیوز و ریکلوزر چهار حالت ممکن است رخ دهد. این چهار حالت از تقاطع دو منحنی مشخصه های زمان معکوس مربوط به فیوز و ریکلوزر نشات می‌گیرد. این تقاطع سه ناحیه متمایز را به وجود می‌آورد که در شکل (۱-۵) نمایش داده شده است.



شکل (۱-۵): سه ناحیه معرفی شده

1 - Fault Clearing Time

با فرض تعویض این دو منحنی زمان معکوس، نهایتاً چهار حالت ظاهر خواهد شد که این حالتها در شکل (۲-۵) نمایش داده شده است. همچنین بیان منطق ریاضی این حالات در جدول (۴-۱) ارائه شده است.



شکل (۲-۵): حالت‌های مختلف مشخصه زمان معکوس فیوز و ریکلوزر

جدول (۵-۱): چهار حالت ممکن برای وضعیت فیوز

Row	$(I_{Fault})_{MIN}$	$(I_{Fault})_{MAX}$
1	$T_{FUSE} < T_{REC}$	$T_{FUSE} < T_{REC}$
2	$T_{FUSE} > T_{REC}$	$T_{FUSE} < T_{REC}$
3	$T_{FUSE} > T_{REC}$	$T_{FUSE} > T_{REC}$
4	$T_{FUSE} < T_{REC}$	$T_{FUSE} > T_{REC}$

این حالات در ادامه تشریح شده است:

۱- برای بدترین و خفیف‌ترین حالت ممکن خطا، فیوز از ریکلوزر سریعتر عمل می‌کند. بنابراین گرچه هماهنگی صحیح مابین فیوز و ریکلوزر رعایت نشده است اما احتمال وقوع پدیده فرسودگی فیوز وجود نخواهد داشت.

۲- در این حالت پیش از حضور منابع تولید پراکنده در فیدر شبکه توزیع هماهنگی لازم مابین فیوز و ریکلوزر برقرار بوده است. اما بواسطه حضور منابع تولید پراکنده و افزایش سطح اتصال کوتاه فیوز فیدر جانبی سریعتر عمل کرده و بنابراین خطر وقوع خستگی فیوز وجود دارد.

۳- در هر دو حالت خطا، فیوز پس از عملکرد سریع ریکلوزر ذوب می‌شود بنابراین حتی پس از حضور منبع تولید پراکنده در روی فیدر با وجود افزایش جریان خطا هماهنگی میان فیوز و ریکلوزر حفظ شده و بنابراین این فیوز را می‌توان یک فیوز مطمئن قلمداد کرد.

۴- در این حالت حتی پیش از حضور منابع تولید پراکنده، فیوز و ریکلوزر هماهنگی لازم را ندارند و همینطور با نصب منبع تولید پراکنده این ناهماهنگی تشدید می‌شود. با وجود این عدم هماهنگی خطر بروز فرسودگی فیوز نیز وجود دارد.

بدین ترتیب الگوریتم پیشنهادی وضعیت هر فیوز را جداگانه و به وضوح مشخص می‌نماید. از این رو تصمیمات اصلاحی مناسب به منظور بهبود و یا درمان سیستم حفاظتی جریان زیاد در مقابل حضور منابع تولید پراکنده، می‌بایست برای هر فیوز اتخاذ شود. تصمیمات اتخاذی متناظر با هریک از اعداد فوق به صورت ذیل می‌باشد:

۱- گرچه فیوز مربوطه در معرض خطر فرسودگی قرار ندارد، اما به جهت اجرای صحیح طرح حفاظتی جریان زیاد با هدف حفظ فیوز در فیدر با حضور منبع تولید پراکنده، فیوز مربوطه می‌بایست تعویض گردد.

۲- به دلیل اینکه فیوز مربوطه کاملاً تحت خطر فرسودگی می‌باشد، گرچه هماهنگی مابین فیوز و ریکلوزر پیش از نصب منبع تولید پراکنده برقرار بوده است، اما بواسطه حضور تولید پراکنده علاوه بر افزودن ریکلوزر به فیدر جانبی به ناچار باید این فیوز را با فیوز نوع بالاتر تعویض نمود.

۳- از آنجایی که هماهنگی مابین فیوز و ریکلوزر حتی بعد از نصب منبع تولید پراکنده حفظ شده است، بنابراین این فیوز هیچ احتیاجی به بازبینی و یا تعویض ندارد.

۴- این حالت تنها زمانی رخ می‌دهد که حتی پیش از نصب مولد تولید پراکنده هماهنگی لازم میان فیوز و ریکلوزر وجود نداشته است. که پس از حضور منبع تولید پراکنده این عدم هماهنگی تشدید یافته و در کنار آن خطر فرسودگی فیوز افزایش می‌یابد.

۲-۵ نتایج حاصل از اجرای الگوریتم پیشنهادی در شبکه نمونه

با اجرای الگوریتم پیشنهادی برای این شبکه نمونه همانگونه که انتظار می‌رفت فیوز F3 به عنوان فیوز تحت خطر معرفی گردید. نتایج حاصل از اجرای الگوریتم در جدول (۴-۲) درج گردیده است.

جدول (۵-۲): نتایج حاصل از اجرای الگوریتم برای شبکه نمونه

وضعیت فیوز	مقایسه مدت زمان رفع خطا فیوز-ریکلوزر		اسم فیوز
۲	$I_{F \max}$	$I_{F \min}$	Fuse 3
	$T_{Fuse} < T_{Rec}$	$T_{Fuse} > T_{Rec}$	

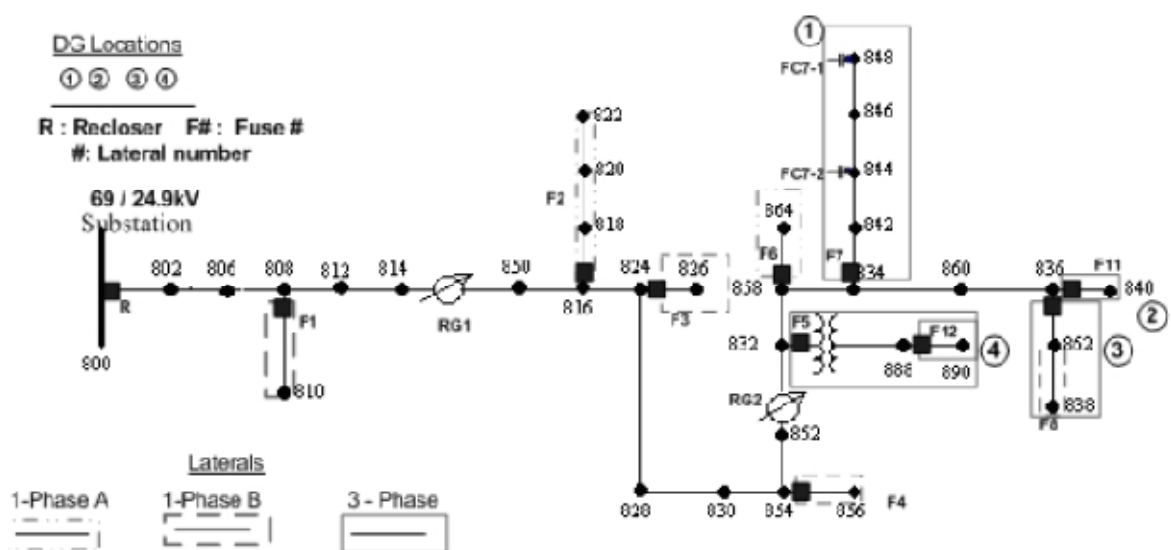
بنابراین در صورت حضور منبع تولید پراکنده در باس شماره ۳ با ظرفیت 1MW و با اجرای این الگوریتم ضرورت تعویض و بازبینی فیوز F3 روشن خواهد شد.

۳-۵ معرفی شبکه IEEE 34 Node Test Feeder و پیاده‌سازی روش پیشنهادی

برای مطالعه و بررسی روش پیشنهادی فیدر شعاعی IEEE ۳۴ گره موجود در مرجع [۳۶] و [۳۸]، مورد استفاده قرار گرفته‌است که در نرم افزار DigSILENT مدل شده‌است و یک طرح حفاظت جریان زیاد با حفظ تقدم عملکرد فیوز به فیدر افزوده شده‌است. در ابتدا تاثیر منابع تولید پراکنده بر روی حفاظت جریان زیاد فیدر ۳۴ گره مورد بررسی قرار می‌گیرد. سپس روش معرفی شده برای کاهش مسائل شناخته شده در حفاظت جریان زیاد با در نظر گرفتن فلسفه حفظ فیوز بکار گرفته می‌شود. در ادامه این فیدر و مشخصات آن ارائه شده‌است:

۴-۵ معرفی فیدر IEEE ۳۴ گره

شبکه مورد آزمایش در شکل (۳-۵) نشان داده شده‌است. این فیدر یک سیستم چهار سیمه نامتعادل است که خطوط آن به صورت تک‌فاز و سه فاز است. بار نامی سیستم ۲.۵ MVA، ولتاژ نامی سمت ترانسفورماتور پست ۶۹/۲۴.۹ کیلوولت و سطح ولتاژ ترانسفورماتور نصب شده در یکی از فیدرهای جانبی که در پایین دست فیدر کار می‌کند ۲۴.۹/۴.۱۶ کیلوولت است. دو تنظیم کننده ولتاژ (R_{G1} و R_{G2}) به صورت استراتژیک در طول فیدر اصلی نصب شده‌اند. همچنین شامل دو بانک خازنی (C_{7-1} و C_{7-2}) می‌باشد، که بر روی یکی از فیدرهای جانبی سه فاز فیدر اصلی قرار دارد. فیدر از ۶ بار نقطه‌ای و ۱۹ بار توزیع شده که به عنوان بارهای توان ثابت، جریان ثابت و امپدانس ثابت مدل شده‌اند، ترکیب شده‌است. بارهای نقطه‌ای همگی سه فاز هستند در حالی که بارهای توزیع شامل ۱۲ بار تک‌فاز و سه بار دو فاز و چهار بار سه فاز هستند. بارکل ۱.۷۶۹MVA است. الگوی حفاظت جریان زیاد که به فیدر افزوده شده در [۳۸] مورد بحث قرار گرفته است.



شکل (۵-۳): فیدر IEEE ۳۴ گره

۵-۵ واحدهای تولید پراکنده

واحدهای تولید پراکنده به صورت موازی با فیدر بهره‌برداری می‌شوند و از طریق یک ترانسفورماتور به فیدر متصل هستند. مقدار ظرفیت نامی ترانسها با توجه به ظرفیت واحدهای تولید پراکنده انتخاب می‌گردد. از آنجایی که ژنراتورهای سنکرون به عنوان رایج ترین تیپ واحدهای تولید پراکنده هستند در این مطالعه نیز برای انجام شبیه سازی‌ها از ژنراتور سنکرون استفاده شده است. مقادیر گذرا، زیر گذرا و راکتانس‌های توالی صفر در [۴۱] و [۲۲] آورده شده است. در ضمن این ژنراتورها را به صورت کنترل کننده ضریب توان یا PQ با ضریب توان ۰.۸۵۴ در نظر گرفته می‌شود. پارامترهای مربوط به چهار سایز متفاوت از واحدهای تولید پراکنده مورد مطالعه در جدول در جدول (۵-۳) آورده شده است.

۶-۵ مطالعات شبیه‌سازی

موارد مطالعاتی شامل چهار واحد جدول (۵-۳) می‌باشد. انواع خطاهای مورد مطالعه شامل سه فاز به زمین و فاز به زمین می باشد خطای فاز به زمین با امپدانس ۲۰ اهم برای کمترین جریان خطا در فیدر ۳۴ باسه استفاده شده است. خطاهای مورد مطالعه شامل سه فاز A و B و C هستند.

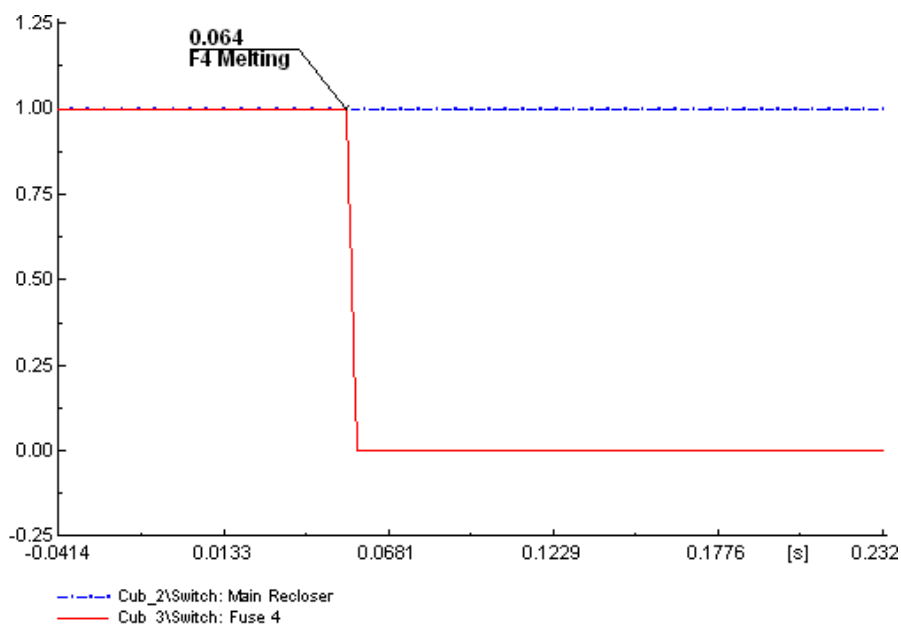
جدول (۵-۳): پارامترهای واحدهای سنکرون تولید پراکنده [۳۸]

Transient Parameters	Generator Size (MVA)			
	0.406	1.075	2.5	3.85
Vn (Vrms)	460	460	460	4160
Freq (Hz)	60	60	60	60
Td' (s)	0.08	0.185	0.33	3.3
Td'' (s)	0.019	0.025	0.03	0.015
Tq'' (s)	0.019	0.025	0.03	0.05
xd (pu)	2.9	2.89	2.4	2.32
xd' (pu)	0.17	0.25	0.2	0.26
xd'' (pu)	0.12	0.17	0.15	0.16
xq (pu)	2.44	1.72	1.77	1.18
xq'' (pu)	0.34	0.29	0.26	0.260*
xl (pu)	0.07	0.08	0.05	0.15
H (s)	0.194	0.322	0.347	1.01
Rs (pu)	0.003	0.003	0.003	0.003

برای فیدر نشان داده شده در شکل ۵-۸ مطالعات هماهنگی برای همه منابع تولید پراکنده انجام می‌گردد تا در نقاط مناسب قرار گیرند. موقعیت‌های نصب منابع تولید پراکنده به ترتیب نقاط ۸۴۰، ۸۴۸، ۸۶۰ و ۸۹۰ می‌باشند. با نصب منابع تولید پراکنده و انجام شبیه‌سازی اثراتی همچون فرسودگی فیوز، اثر مخرب ذوب فیوز و نیز عملکرد ناقص فیوز در طول یک خطای دائمی و یا گذرا مشاهده می‌شود. مدت زمان خطای گذرا بین ۵ تا ۱۰ سیکل در نظر گرفته می‌شود.

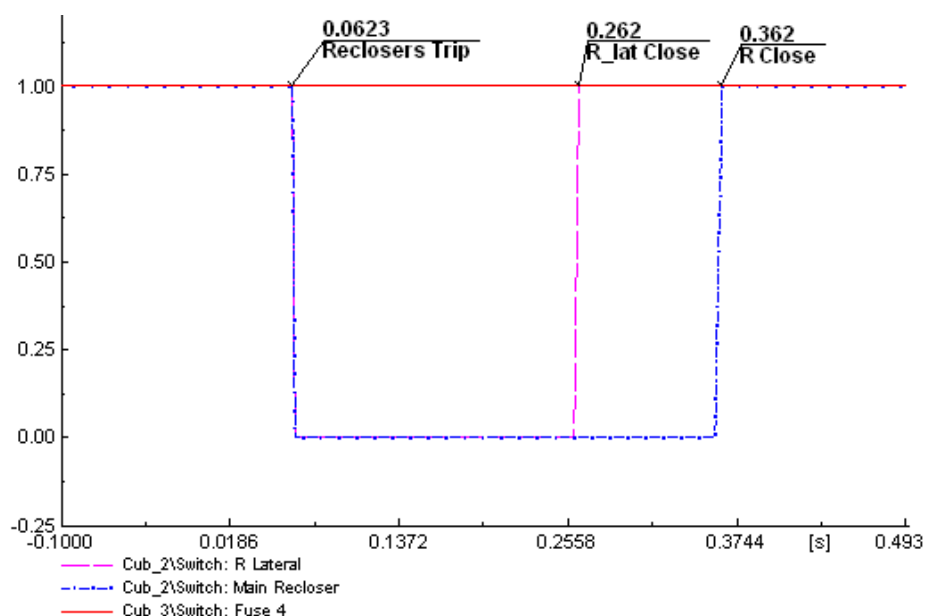
۵-۶-۱- مورد مطالعاتی ۱

این مورد شامل یک واحد تولید پراکنده با ظرفیت ۲.۵ مگاوات آمپر است که در گره ۸۴۰ نصب شده است. فرض می‌شود خطای تکفاز به زمین و با امپدانس ۱۰ اهم در فیدر جانبی شماره ۴ در قست پایین فیوز تکفاز رخ دهد. اندازه‌ی واحد تولید پراکنده در این حالت متناظر با میزان نفوذ ۱۰۰ درصد می‌باشد که بدترین شرایط را نمایش می‌دهد. مدت زمان خطا ۰.۰۱ تا ۰.۰۸ ثانیه می‌باشد. در طول خطای گذرا انتظار می‌رود که ریکلوزر پیش از فیوز عمل کند اما در طول دوره خطای گذرا فیوز ذوب گشته و باعث قطع دائمی و نابجای فیدر جانبی می‌گردد. در شکل (۵-۴) عملکرد با فیوز F_4 را روی فاز B که نسبت به دو فاز دیگر خود سریعتر ذوب گردیده را نشان می‌دهد که بیانگر اثر ذوب مخرب فیوز می‌باشد. در این شکل پس از وقوع خطا فیوز F_4 در زمان ۰.۰۶۴ ثانیه فاز B فیوز F_4 ذوب می‌شود درحالی که ریکلوزر در وضعیت ۱ (بسته) باقی می‌ماند که نشانگر عملکرد ناموفق ریکلوزر در رفع خطا هست.



شکل (۵-۴): بروز اثر ذوب مخرب فیوز در F_4 قبل از اجرای روش پیشنهادی

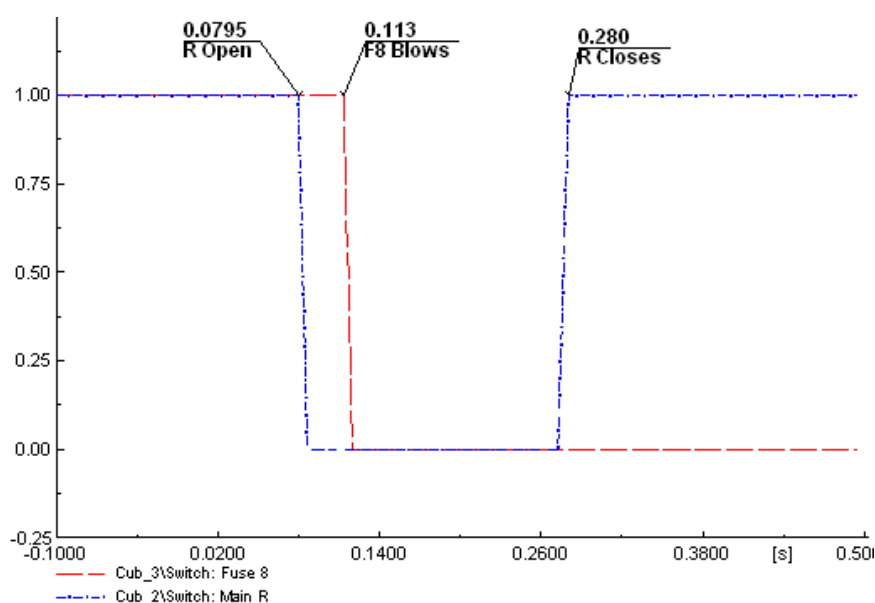
شکل (۵-۵) شرایط مشابهی را پس از بکارگیری مناسب ریکلوزر بر روی طرح حفاظتی جریان زیاد موجود نشان می‌دهد. با توجه به شکل پس از وقوع خطا و در زمان ۰.۰۱ ثانیه ریکلوزر فیدر جانبی و ریکلوزر فیدر اصلی عمل می‌کنند. ریکلوزر فیدر در زمان ۰.۰۶۲ ثانیه باز شده در ۰.۳۶۲ ثانیه بسته می‌شود. ریکلوزر فیدر جانبی نیز در زمان ۰.۰۳۱ ثانیه باز شده و در ۰.۲۶۲ ثانیه مجدداً بسته می‌شود. فیوز F_4 در طول خطای گذرا عمل نمی‌کند. در نتیجه اثر ذوب مخرب فیوز مرتفع می‌گردد و از خروج دائمی و ناخواسته فیدر نیز جلوگیری می‌شود.



شکل (۵-۵): رفع اثر ذوب مخرب فیوز در F_4 بعد از بکارگیری مناسب ریکلوزر

۵-۶-۲- مورد مطالعاتی ۲

در این مورد واحد تولید پراکنده ۲.۵ مگاوات آمپر بر روی فیدر جانبی شماره ۸ در گره ۸۳۸ نصب می‌گردد. شبیه‌سازی‌ها برای سه ظرفیت ذکر شده در جدول (۳-۵) انجام شده‌است. فیوزهای فیدر جانبی شماره ۸ در اثر بروز خطا در خارج از فیدر جانبی بصورت ناقص عمل می‌کند. به عنوان نمونه در بدترین مورد می‌توان به یک خطای سه فاز به زمین در محل گره ۸۳۶ با ظرفیت مولد تولید پراکنده ۲.۵ مگاوات آمپر اشاره کرد. طبق شکل (۶-۵) در این حالت فیوز فاز B عملکرد ناقص خواهد داشت و سپس این پدیده در دو فاز دیگر رخ می‌دهد.

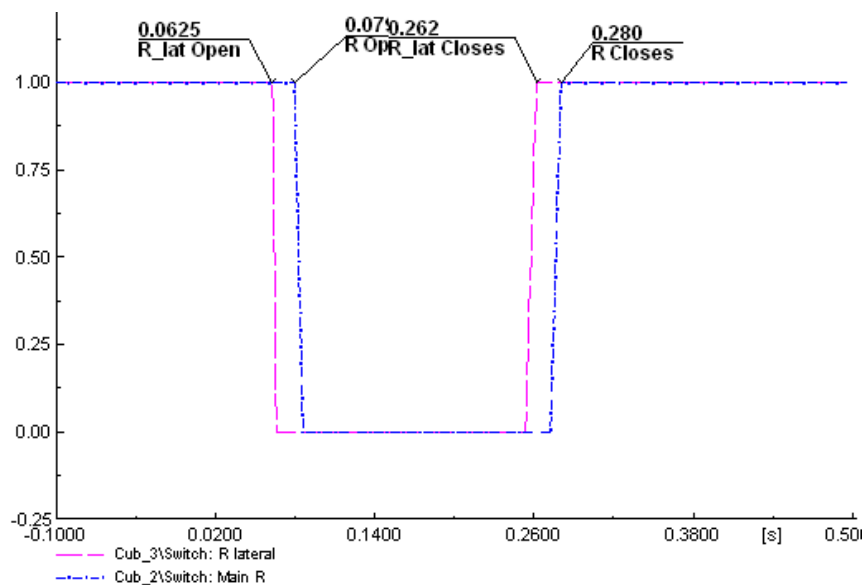


شکل (۶-۵): عملکرد ناقص فیوز F₈ قبل از بکارگیری مناسب ریکلوزر

با توجه به شکل (۶-۵) فیوز فاز B در زمان ۰.۱۱۳ ثانیه ذوب شده که باعث قطع فاز بدون خطا می‌شود و نتیجتاً نامتعادلی در فازهای دیگر می‌شود. در طول عملکرد ناقص فیوز ریکلوزر نیز روی منحنی مشخصه سریع خود عمل می‌نماید.

در شکل (۷-۵) شرایط مشابهی پس از پیاده‌سازی روش پیشنهادی نمایش داده شده‌است. در این شکل پس از وقوع خطا و در زمان ۰.۰۱ ثانیه ریکلوزر فیدر اصلی و فیدر جانبی هردو عمل می‌کنند. ریکلوزر فیدر جانبی در زمان ۰.۰۲۸ ثانیه باز و در زمان ۰.۱۶۲ ثانیه بسته می‌شود. (از وضعیت ۱ به ۰ می‌رود و مجدداً به ۱ باز می‌گردد).

ریکلوزر فیدر اصلی نیز در زمان ۰.۰۸۵ ثانیه باز می‌شود و در زمان ۰.۲۴۸ ثانیه مجدداً وصل می‌شود.

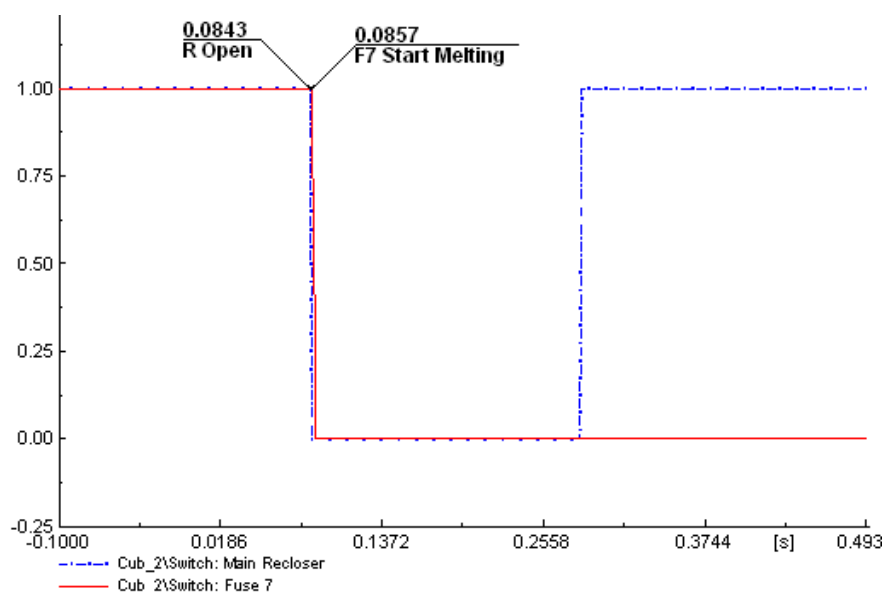


شکل (۵-۷): برطرف کردن عملکرد ناقص فیوز F₈ بعد از بکارگیری مناسب ریکلوزر

بدین ترتیب عملکرد ناقص فیوز با بکارگیری مناسب ریکلوزر مرتفع می گردد.

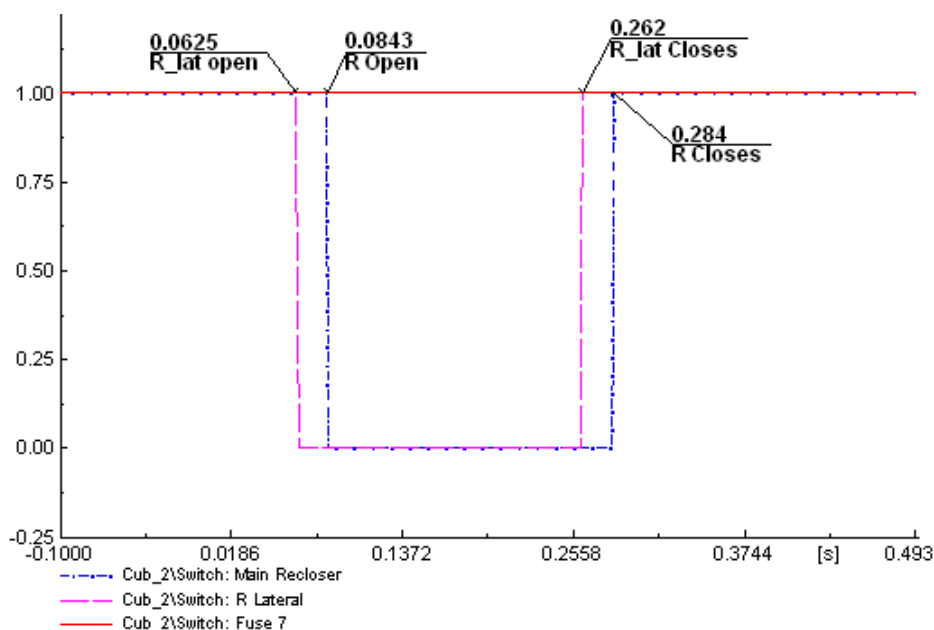
۳-۶-۵- مورد مطالعاتی ۳

این مورد شامل یک واحد تولید پراکنده با ظرفیت ۲.۵ مگاوات آمپر است که در گره ۸۴۰ نصب شده است. فرض می شود یک خطای تکفاز به زمین با امپدانس ۱۵ اهم در فیدر جانبی شماره ۷ در انتهای فیدر رخ دهد. اندازه ی واحد تولید پراکنده در این حالت متناظر با میزان نفوذ ۱۰۰ درصد می- باشد که بدترین شرایط را نمایش می دهد. در این حالت همانگونه که در شکل (۵-۸) نیز نمایش داده شده است فیوز F₇ به محض عملکرد سریع ریکلوزر شروع به ذوب شدن می کند.



شکل (۵-۸): وقوع فرسودگی فیوز F₇ قبل از بکارگیری مناسب ریکلوزر

در این حالت با وجود اینکه وقوع این پدیده ممکن است منجر به خروج دائمی فیدر نگردد، اما به جهت ذوب فیوز، خطر قطع بی دلیل فیوز بروز پیدا خواهد کرد.



شکل (۵-۹): رفع پدیده فرسودگی فیوز F₇ پس از بکارگیری مناسب ریکلوزر

بدین ترتیب نرخ بروز فرسودگی فیوز نیز با بکارگیری این روش تا حد قابل قبولی کاهش می‌یابد. همانگونه که انتظار می‌رفت، علیرغم کاهش نرخ بروز فرسودگی فیوز در کل فیدر اما همچنان در مواردی احتمال بروز این پدیده کاملاً وجود دارد.

به عنوان مثال با نصب مولد تولید پراکنده با ظرفیت ۱۲۵۰ کیلوولت آمپر در گره شماره ۸۴۸ فیوز شماره ۳ تحت خطر فرسودگی می‌باشد. در حالی که با کاهش ظرفیت به ۱۱۰۰ کیلوولت احتمال بروز فرسودگی فیوز برای هیچ یک از فیوزها وجود نخواهد داشت.

بنابراین با استفاده از اجرای الگوریتم مورد نظر با نصب مولد تولید پراکنده در یک محل مشخص فیوزهایی که در معرض خطر فرسودگی قرار دارند شناسایی می‌گردند. بدین منظور مولدهای تولید پراکنده‌ای که در بخش شماره یک این فصل معرفی گردید، در گره ۸۴۰ و گره ۸۴۸ بطور جداگانه مورد بررسی قرار گرفته‌اند. نتایج در جداول (۵-۴) و (۵-۵) ارائه شده است.

جدول (۴-۵) : وضعیت فیوزهای فیدر با نصب تولید پراکنده در گره ۸۴۰

شماره فیوز	ظرفیت DG نصب شده در گره ۸۴۰ (MVA)			
	۰.۴۰۶	۱.۰۷۵	۲.۵	۳.۸۵
۱	۳	۳	۳*	۳*
۲	۳	۳*	۲	۲
۳	۳*	۳*	۲	۲
۴	۳	۳*	۲	۲
۶	۳	۳*	۲	۱
۷	۳	۳*	۲	۱
۸	۳	۳*	۲	۱

جدول (۵-۵) : وضعیت فیوزهای فیدر با نصب تولید پراکنده در گره ۸۴۸

شماره فیوز	ظرفیت DG نصب شده در گره ۸۴۸ (MVA)			
	۰.۴۰۶	۱.۰۷۵	۲.۵	۳.۸۵
۱	۳	۳	۳	۳
۲	۳	۳	۳*	۳*
۳	۳	۳	۳*	۲
۴	۳	۳	۳*	۳*
۶	۳	۳	۲	۲
۸	۳	۳	۲	۲
۹	۳	۳	۳	۳

۷-۵ تعیین حداکثر سطح نفوذ منابع تولید پراکنده

با استفاده از این روش همچنین می توان میزان سطح نفوذ منابع تولید پراکنده در نقاط مختلف شبکه را تعیین کرد. که این عمل در انتخاب ساختگاه های مناسب جهت بهترین مکان برای نصب و بهره برداری از تولید پراکنده، از اهمیت بسزایی برخوردار است. از این رو چهار گره ۸۴۰، ۸۴۸، ۸۳۸ و ۸۳۲ جهت تعیین سطح نفوذ منبع تولید پراکنده در این فیدر شعاعی استاندارد انتخاب شده اند. نتایج حاصل از این بررسی در جدول (۶-۵) ارائه شده است.

جدول (۶-۵) : ماکزیمم ظرفیت DG قابل نصب با در نظر گرفتن حذف فرسودگی فیوز

گره	۸۳۲	۸۳۸	۸۴۰	۸۴۸
حداکثر ظرفیت قابل نصب [KVA]	۸۵۰	۴۵۰	۴۵۰	۱۰۷۵

همانگونه که از نتایج می توان دریافت با نزدیک شدن محل نصب مولد تولید پراکنده به سمت پست فوق توزیع میزان سطح نفوذ مربوطه افزایش می یابد. نزدیک بودن محل نصب مولد تولید پراکنده به سمت پست فوق توزیع ویژگی های دیگری نیز دارد که در فصل سوم به آن اشاره شده است.

جدول فوق تنها بیانگر میزان ظرفیت قابل نصب مولد تولید پراکنده با در نظر گرفتن عدم بروز پدیده فرسودگی فیوز است اما نکته قابل توجه در بهره برداری از شبکه در حضور منبع تولید پراکنده حداقل سازی هزینه تغییرات تحمیلی است.

بدین منظور برای یافتن بهترین گزینه از لحاظ محل و ظرفیت قابل نصب مطالعات را تا بروز دو فرسودگی فیوز ادامه می دهیم. نتایج در جدول (۷-۵) اشاره شده است.

جدول (۷-۵) : میزان بروز فرسودگی فیوز با نصب DG در گره های مختلف

گره	۸۳۲	۸۳۸	۸۴۰	۸۴۸
ظرفیت قابل نصب DG بادر نظر داشتن عدم بروز فرسودگی فیوز [KVA]	۸۵۰	۴۵۰	۴۵۰	۱۰۷۵
	--	--	--	--
ظرفیت قابل نصب DG بادر نظر داشتن وقوع ۱ فرسودگی فیوز [KVA]	۹۶۰	۴۸۵	۵۵۰	۱۲۵۰
	F3	F3	F3	F3
ظرفیت قابل نصب DG بادر نظر داشتن وقوع ۲ فرسودگی فیوز [KVA]	۱۰۷۵	۵۰۰	۷۱۰	۱۳۰۰
	F3 & F1	F3 & F7	F3 & F2	F3 & F6

همانگونه که از نتایج پیداست فیوز F3 را می توان نقطه ضعف این فیدر در حضور منابع تولید پراکنده نام برد. بنابراین با تعویض این المان امنیت این فیدر شعاعی در مقابل حضور منابع تولید پراکنده از دیدگاه حذف فرسودگی فیوز تا حد قابل قبولی بهبود می یابد.

بدین ترتیب الگوریتم پیشنهادی وضعیت هر فیوز را بطور جداگانه بررسی و مشخص می کند. همچنین پس از نصب منبع تولید پراکنده با یک ظرفیت مناسب در یک محل مشخص و با اجرای برنامه روی شبکه توزیع بازبینی شده، صحت عملکرد هر فیوز را می توان به اثبات رساند.

فصل ۶. نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادات

در حال حاضر در کشور ما عواملی از جمله کمبود منابع مالی برای احداث واحدهای نیروگاهی، تشویق بخش خصوصی به سرمایه گذاری در صنعت برق با هدف کاهش تصدی گری دولت، رشد بالای مصرف انرژی الکتریکی، استفاده از انرژی های تجدید پذیر و ایجاد پراکندگی در منابع انرژی اولیه مورد نیاز، برق رسانی به مناطق دور افتاده و ایجاد بازار رقابتی عمده فروشی و خرده فروشی همگی دست به دست هم داده تا کانون توجه مدیران ارشد برق، بسط و گسترش بهره برداری از منابع تولید پراکنده قرار گیرد.

همچنین از آنجایی که از تدوین دستورالعمل توسعه مولدهای مقیاس کوچک مدت زمانی میگذرد، علیرغم صرف هزینه های کلان در خصوص جذب سرمایه گذران تاکنون تعداد مولدهای تولید پراکنده متصل به شبکه به پنج مورد هم نرسیده است. به همین دلیل رفع موانع احتمالی در پیشبرد این هدف، از اهمیت بسزایی برخوردار است. به گونه ای که در طی سالهای اخیر در کشورمان ایران و سایر کشورها اغلب مجامع علمی مرتبط، به مسئله رفع مشکلات بهره برداری از منابع تولید پراکنده پرداخته اند.

در این پایان نامه اثر حضور منابع تولید پراکنده بر شبکه های توزیع مورد بحث و بررسی قرار گرفت. در خصوص اثرات آن در سیستم حفاظتی شبکه که غالباً حفاظت جریان زیاد می باشد، راهکارهایی معرفی و ارائه گردید. عمده مشکلات وارد بر سیستم حفاظتی مسائلی مربوط به عملکرد فیوز می باشد که عبارت است از فرسودگی فیوز، ذوب مخرب و عملکرد اشتباه فیوز.

با افزودن یک ریکلوزر با تنظیم مناسب در ابتدای فیدر جانبی اغلب مشکلات مذکور مرتفع گردید. به عبارتی عملکرد اشتباه فیوز و نیز ذوب مخرب فیوز به طور کلی حذف گردید. اما نکته جالب توجه این است که میزان بروز فرسودگی فیوز تنها تضعیف گردیده و کاملاً برطرف نمیشود. بدین منظور الگوریتم مناسبی طراحی و پیاده سازی گردید. تا با کمترین میزان تغییر ممکن در سیستم حفاظتی موجود، شبکه توزیع را برای حضور منابع تولید پراکنده ایمن سازد. نهایتاً راهکارهای پیشنهادی جهت حذف اثر حضور منابع تولید پراکنده بر روی فیدر استاندارد IEEE ۳۴ گره مورد آزمایش قرار گرفت تا صحت عملکرد موارد پیشنهادی را به اثبات رساند. همچنین شایان ذکر است با توجه به اهمیت حداقل تغییرات به منظور دستیابی به ظرفیت بهینه منبع تولید پراکنده، در پایان مباحثی درخصوص تعیین سطح نفوذ منبع تولید پراکنده مسئله فرسودگی فیوز مطرح گردید.

بنابراین پس از بازبینی حفاظت فیدرهای شعاعی شبکه توزیع به جرات می توان گفت شبکه حاصل با سیستم حفاظتی جدید در برابر حضور منبع تولید پراکنده کاملاً ایمن می باشد.

درخصوص ادامه روند این مطالعات، جایابی بهینه منابع تولید پراکنده با درنظر گرفتن مسائل مربوط به فرسودگی فیوز و نیز مطالعات بیشتر بر روی فیدر استاندارد IEEE ۱۲۳ گره پیشنهاد می گردد. همچنین توسعه و اجرای الگوریتم پیشنهادی بر روی شبکه های دو سوتغذیه را نیز میتوان در زمره فعالیتهای مناسب به جهت تکمیل و پیشبرد این مطالعات علمی درنظر گرفت.

منابع و مراجع

- [1]. Working Group (IEEE PES T&D Committee) and SCC22 – Power Quality, "Guide for applying harmonic limits on Power system", IEEE standard department, NJ, 1996.
- [2]. Ackermann. T., Andersson. G., Soder. L., "Distributed Generation: a definition", Electric Power System Research, Vol. 57, 2001.
- [3]. International Energy Agency; available in: <http://www.iea.org>
- [4]. Newton. W. "Distributed Generation: A Utility Perspective", PSC 2004
- [۵]. بیات.م.ر. " جایابی منابع تولید پراکنده با هدف بهبود پروفیل ولتاژ و کاهش تلفات"، دانشگاه سمنان، ۱۳۸۵
- [۶]. پارسا مقدم، م.، یوسفی، ش.، دشتی، ر. " مکان یابی سیستمهای فتوولتائیک در شبکه های توزیع به منظور کاهش تلفات " بیستمین کنفرانس بین المللی برق (PSC)، ۲۰۰۵
- [۷]. طارمی، م. " تولید پراکنده و مزایای استفاده از آن " نهمین کنفرانس دانشجویی برق ایران.
- [۸]. خدرزاده، م.، "حفاظت سیستم های قدرت الکتریکی" ، دانشگاه صنعت آب و برق شهید عباسپور، ۱۳۸۵
- [۹]. فرزانه رفعت، ع.، جوادیان، ع.، م.، بطحایی، م.، ت.، حقی فام، م.، "تعیین حداکثر ظرفیت منابع تولید پراکنده برای حفظ هماهنگی فیوز-ریکلوزر در شبکه های توزیع" بیست و دومین کنفرانس بین المللی برق (PSC) ، ۲۰۰۷
- [۱۰]. فرزانه رفعت.ع. ، بطحایی.م.ت. " یک روش جدید جهت تعیین حدود ظرفیت و مکان نیروگاههای تولید پراکنده بدون نیاز به هماهنگی رله های حفاظتی"، دهمین کنفرانس دانشجویی مهندسی برق ایران، ۱۳۸۵
- [۱۱]. فرزانه رفعت.ع. ، پیرایش نقاب.ا. " بررسی رفتار دینامیکی منابع تولید پراکنده در هنگام وقوع اتصال کوتاه و تأثیر آن بر هماهنگی تجهیزات حفاظتی شبکه توزیع" بیست و سومین کنفرانس بین المللی برق (PSC) ، ۲۰۰۸
- [۱۲]. موسوی.ع.، خدرزاده، م. " بررسی روشهای کاهش اثر DG بر حفاظت جریان زیاد شبکه های توزیع با استفاده از محدودساز جریان خطا"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعت آب و برق شهید عباسپور، ۱۳۸۸

[۱۳]. عسگریان ابیانه، ح.، سهیلی پور، ح. "تنظیم و هماهنگی بهینه حفاظت شبکه توزیع به کمک الگوریتم ژنتیک" بیست و سومین کنفرانس بین المللی برق (PSC)، ۲۰۰۸

[۱۴]. جوادیان، ع.، م.، ت.، حقی فام، م.، " بررسی تاثیر حضور DG بر حفاظت جریان زیاد فیدرهای توزیع" دوازدهمین کنفرانس شبکه های توزیع نیروی برق، اردیبهشت ۱۳۸۶

[15]. K Kauhaniemi, L Knmpnlained "Impact of Distributed Generation on the Protection of Distribution System" Developments in Power System Protection, Eighth IEE International Conference, 5-8 April 2004,

[16]. Vol.1, pp. 315 - 318. "Steady State Operation and Control of Power Distribution Systems in the Presence of Distributed Generation" Thesis for the degree of licentiate engineering, Sweden 2006

[17]. Philip P. Barker, Robert W. de Mello "Determining the Impact of Distributed Generation on Power Systems: Part 1 – Radial Distribution Systems" Power Technologies, Inc IEEE, 2000

[18]. "Impact of Distributed Resources on Distribution Relay Protection" A report to the Line Protection Subcommittee of the Power System Relay Committee of The IEEE Power Engineering Society, prepared by working group D3, August 2004

[19]. Girgis, A., Brahma, S., "Effect of Distributed Generation on Protective Device coordination in Distribution Systems" Power Engineering, LESCOPE'01. 2001 Large Engineering Systems Conference, 11-13 July

[20]. .Fazanehrfat, .A, Javadian, S.A.M, "Maintaining the Recloser-Fuse Coordination in Distribution Systems in Presence of DG by Determining the DG Size" in Proc. 2008 IET 9th International Conference on Developments in Power System Protection, pp. 132-137.

[21]. C. J. Mozina, "A Tutorial on the Impact of Distributed Generation (DG) on Distribution Systems," in Proc. 2008 61st Annual Conference for Protective Relay Engineers, pp. 591-609.

[22]. J. D. Glover and M. S. Sarma, "Power Systems Analysis and Design," 2nd ed Boston: PWS Publishing Company, 1994

[۲۳]. مهردادش، ا.، گلکار، ع.ا.، "تاثیر تولیدات پراکنده بر حفاظت شبکه های توزیع" بیست و یکمین کنفرانس بین المللی برق (PSC)، ۲۰۰۶

[۲۴]. جوادیان، ع.م.، حق فام، م.، "بررسی حضور منابع تولید پراکنده در عملکرد سیستم حفاظت شبکه های توزیع" دوازدهمین کنفرانس شبکه های توزیع نیروی برق، اردیبهشت ۱۳۸۶

[۲۵]. موسوی، ع.، خدرزاده، م.، "بازیابی هماهنگی رله های اضافه جریان جهت دار در شبکه های توزیع حاوی منابع تولید پراکنده با استفاده از محدودساز جریان خطا" بیست و چهارمین کنفرانس بین المللی برق (PSC)، ۲۰۰۹

[۲۶]. خلیلی فر، م.، خدرزاده، م.، "کاربرد محدودساز جریان خطا برای مقابله با اثر نامطلوب تزریق جریان خطا توسط واحدهای تولید پراکنده" پایان نامه کارشناسی، دانشگاه صنعت آب و برق شهید عباسپور، ۱۳۸۸

[۲۷]. رضایی، ن.، حق فام، م.، "حفاظت شبکه های توزیع با استفاده از شبکه های عصبی با در نظر گرفتن اثر تولیدات پراکنده" بیستمین کنفرانس بین المللی برق (PSC) آبان ۱۳۸۴

[۲۸]. جوادیان، ع.م.، حق فام، م.، "یک روش ترکیبی برای مکان یابی خطا و حفاظت شبکه های توزیع دارای تولید پراکنده با استفاده از شبکه عصبی" بیست و چهارمین کنفرانس بین المللی برق (PSC)، ۲۰۰۹

[۲۹]. صدیقی، م.، علی نژاد برمه، ی.، "بررسی منابع تولید پراکنده (DG) و نیز یافتن مکان و ظرفیتهای بهینه آنها برای بهبود کیفیت توان در شبکه های توزیع" پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه سمنان، ۱۳۸۶

- [30]. Michael T. Doyle, "Reviewing the Impacts of Distributed Generation on Distribution System Protection", Power Engineering Society Summer Meeting, 2002 IEEE Vol.1, pp.103-105
- [31]. S. Brahma, A. Girgis, "Development of Adaptive Protection Scheme for Distribution Systems with High Penetration of Distributed Generation," IEEE Trans. Power Delivery, VOL. 19, NO. 1, JANUARY 2004, 56-63.
- [32]. S. Brahma, A. Girgis, "Microprocessor-Based Reclosing to Coordinate Fuse and Recloser in a System with High Penetration of Distributed Generation," IEEE PES Winter Meeting, 2002, Vol.1, pp. 453 – 458.
- [33]. L. K. Kumpulainen, K. T. Kauhaniemi, "Analysis of the impact of distributed generation on automatic reclosing," Power Systems Conference and Exposition, IEEE PES 10-13 Oct. 2004, Vol.1 pp. 603 - 608.
- [34]. M. Baran, I. El-Markabi, "Adaptive over current protection for distribution feeders with distributed generators," in Proc. IEEE Power engineering Society Power Systems Conference and Exposition, pp. 715-719, 2004

- [35]. Kim, C., Aggarwal, R., "Wavelet transformer in power Systems" Power Eng. J., Vol. 15, No. 4, pp. 193-202, Aug. 2001.
- [36]. Osman. A. H, "Transmission line Distance Protection Based on the Wavelet transform", IEEE Transmission on power Delivery, Vol. 19. No. 2, April 2004.
- [37]. Hamed B. Funmilayo, Karen L. Butler-Purpy "An Approach to Mitigate the Impact of Distributed Generation on the Over current Protection Scheme for Radial Feeders" 978-1-4244-3811, 2009, IEEE.
- [38]. K. L. Butler-Purpy and M. Marotti, "Impact of Distributed Generators on Protective Devices in Radial Distribution Systems," in Proc. 2006 IEEE PES Transmission and Distribution Conference and Exhibition, pp. 87-88.
- [39]. .J. A. Silva, H. B. Funmilayo, and K. L. Butler-Purpy, "Impact of Distributed Generation on the IEEE 34 Node Radial Test Feeder with Over current Protection," in Proc. 2007 Proc. 2007 39th North American Power Symposium, pp. 49-57.
- [40]. "PowerFactory Tutorial, DigSILENT PowerFactory Version 14, User Manual, July 2010" [Online] Available: www.digsilent.de
- [41]. "IEEE guide for automatic reclosing of line circuit breakers for AC distribution and transmission lines" IEEE Std C37.104-2002, Jan. 2003

Abstract:

The use of Distributed Generation in distribution systems has many benefits, but also presents many challenges. Notable among these challenges is the distributed generation effects can have on overcurrent protection. Because of that power systems initially have been built for simple one-way power delivery, interconnecting small generators requires new thinking and new methods for operating the network with new challenges. Small-scale generators located on the distribution level are generally referred to as distributed generation (DG)

Three potential issues may occur concerning recloser operation and its downstream fuses are fuse fatigue, nuisance fuse blowing, and fuse misoperation. The cause of these problems the issues is due to the redistribution of the fault current on the feeder between the DG and the substation. Fuse fatigue arises when the fuse begins to melt before the recloser's fast operation. Such operation of the fuse may not result in permanent outage during the fault. Nuisance fuse blowing occurs when the fuse blows prior to the recloser's fast operation. The result of nuisance fuse blowing is a permanent outage on the faulted lateral. Fuse misoperation is caused by the infeed current from the DG to a fault that is located outside the lateral protected by the fuse. An individual fuse misoperation may result in unbalance in the unfaulted phases. In the worst case, the occurrence of these issues may result in unwarranted permanent outage and islanding during a temporary fault.

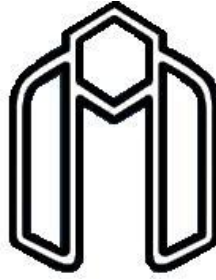
In the previous studies completely mitigated the fuse misoperation and nuisance fuse blowing issues, but the fuse fatigue issues on the radial test feeder are not completely eliminated. Because fuse fatigue occurrence is an unavoidable event with presence of DGs, that's supposed to find an approach to minimize the OCP schemes change or determination size of DGs in radial feeders considering fuse fatigue issues.

In this paper, "Imperiled Fuses" are introduced with a new algorithm and revisory decisions are presented. Then maximum size of DG installation at four specified locations is determined.

The new approach is validated by using the IEEE 34 node radial test feeder. That was simulated in DIgSILENT Powerfactory version 14.520.

Key words:

Distributed Generation, Distribution Radial Feeders, Overcurrent Protection, Fuse-Recloser Coordination, Fuse Fatigue, Penetration Level, Fault Clearing Time.



Shahrood University of Technology
Faculty of Electrical and Robotic Engineering

Assessment the Methods Of Reduce the Distributed Generation Effect on OCP Schemes in Radial Feeders

Ali Asghar Sedaghati

Supervisor:

Dr. A. Darabi

Advisor:

Dr. M. Assili

September 2011