



شرکت توانیر

معاونت هماهنگی توزیع

دفتر مهندسی و راهبری شبکه

نظامنامه حفاظت شبکه های توزیع نیروی برق ایران

نوع سند: **پیش نویس** نظامنامه

تهیه کننده: **دفتر مهندسی و راهبری شبکه - معاونت مهندسی**



نظامنامه حفاظت شبکه توزیع برق

دریافت کنندگان سند جهت اجراء:

۱- کلیه شرکت های توزیع نیروی برق

۲- شرکت توانیر

- معاونت هماهنگی توزیع

- معاونت هماهنگی انتقال

۳- کلیه شرکت های برق منطقه ای

تهیه کننده:	تایید کننده:	تصویب کننده:
امضاء	امضاء	امضاء

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۶	۱. اهداف و محدوده کاربرد
۷	۲. تعریف واژگان و اصطلاحات تخصصی
۹	۳. مقدمه ای بر حفاظت شبکه توزیع
۱۳	۴. تدوین طرح حفاظت شبکه توزیع
۱۳	۴-۱. فلسفه حفاظت شبکه توزیع
۱۳	۴-۱-۱. استفاده از رله حفاظتی چندمنظوره در طول فیدر
۱۷	۴-۱-۲. روش پیشنهادی برای حفاظت ترانسفورماتور
۱۸	۴-۱-۳. انتخاب تجهیز کلیدزنی
۲۰	۴-۱-۴. نیازمندی حفاظتی برای هادی روکش دار و کابل خودنگهدار
۲۲	۴-۱-۶. وصل مجدد در طول فیدر هوایی
۲۴	۴-۱-۷. الزامات کلی مرتبط با رله گذاری در صورت اتصال DG
۲۵	۴-۱-۸. الزامات حفاظت تشخیص خطای زمین
۲۷	۲-۴. حداقل نیازمندی اجباری و تکمیلی حفاظت اجزای سیستم توزیع
۲۷	۴-۲-۱. توابع مورد نیاز در حفاظت فیدر فشار متوسط
۲۷	۴-۲-۲. توابع مورد نیاز در حفاظت سمت فشار متوسط ترانسفورماتور توزیع
۲۹	۴-۲-۳. توابع مورد نیاز در حفاظت سمت فشار ضعیف ترانسفورماتور توزیع
۳۰	۴-۲-۴. واحدهای جانبی مهم
۳۱	۵. پیش نیاز مطالعات هماهنگی حفاظتی
۳۱	۵-۱. مطالعه جریان اتصال کوتاه
۳۲	۵-۲. زمان مجاز پاکسازی خطای اتصال کوتاه در شبکه فشار متوسط
۳۴	۵-۳. تعیین روش مقابله با حالت های گذرای موثر بر سیستم حفاظت



- ۵-۳-۱. رفتار دینامیکی بارهای موتوری ۳۴
- ۵-۳-۲. جریان هجومی ترانسفورماتور ۳۵
- ۵-۳-۳. اشباع ترانسفورماتور جریان ۳۵
- ۵-۳-۴. فرورزناس ۳۶
- ۵-۳-۵. رزونانس ۳۶
- ۴-۵. مشخصات فنی ترانسفورماتور جریان ۳۷
- ۵-۴-۱. مشخصات فنی CT حفاظت ترانسفورماتور توزیع ۳۷
- ۵-۴-۲. تعیین مشخصات فنی CT حفاظت فیدر فشار متوسط ۳۷
- ۵-۵. مشخصات فنی تجهیز اندازه گیری ولتاژ ۴۰
- ۵-۵-۱. ترانسفورماتور ولتاژ القایی ۴۰
- ۵-۵-۲. مقسم ولتاژ ۴۱
۶. انجام مطالعات هماهنگی حفاظتی ۴۲
- ۶-۱. واحدهای حفاظتی سمت فشار ضعیف ترانسفورماتور ۴۳
- ۶-۲. تنظیم توابع حفاظتی رله دیجیتال سمت فشار قوی ترانسفورماتور (رله R2) ۴۵
- ۶-۳. تعیین مشخصات فنی فیوز برای حفاظت ترانسفورماتور توزیع با ظرفیت پایین ۴۶
- ۶-۴. تنظیم توابع حفاظتی رله دیجیتال بکاررفته در انشعاب فیدر فشار متوسط (R3) ۴۶
- ۶-۵. هماهنگی حفاظتی رله های منصوب در پست فوق توزیع ۴۷
- ۶-۵-۱. تنظیم مطلوب توابع حفاظتی رله های بکاررفته در سوئیچگیر با ولتاژ نامی ۱۱ کیلوولت ۴۷
- ۶-۵-۲. تنظیم مطلوب توابع حفاظتی رله های بکاررفته در سوئیچگیر با ولتاژ نامی ۲۰ کیلوولت ۴۹
- ۶-۵-۳. تنظیم مطلوب توابع حفاظتی رله های بکاررفته در سوئیچگیر با ولتاژ نامی ۳۳ کیلوولت ۵۰
۷. تنظیم واحدهای حفاظتی و نظارتی تکمیلی ۵۲
- ۷-۱. تشخیص قطع یک فاز در فیدر فشار متوسط ۵۲
- ۷-۲. حفاظت در برابر اضافه بار حرارتی ۵۳

۵۳	۷-۲-۱. حفاظت فیدر.....
۵۴	۷-۲-۲. حفاظت ترانسفورماتور.....
۵۵	۷-۳. تنظیم واحدهای نظارتی.....
۵۵	۷-۳-۱. واحد تشخیص جریان هجومی.....
۵۵	۷-۳-۲. واحد تشخیص اضافه جریان راه اندازی بار سرد.....
۵۶	۷-۴. واحد نظارت بر میزان فرسودگی کلید.....
۵۷	۵-۷. مکان یابی خطا.....
۵۷	۶-۷. حفاظت بانک خازنی فشار متوسط.....
۵۸	۷-۷. سایر موارد.....
۵۹	۸. آماده سازی و تست عملکرد رله های حفاظتی دیجیتال.....
۵۹	۸-۱. آزمون های ارزیابی عملکرد در زمان نصب و راه اندازی.....
۶۰	۸-۱-۱. آزمون های مربوط به رله حفاظتی دیجیتال.....
۶۱	۸-۱-۲. آزمون های مربوط به سایر اجزای سیستم حفاظتی.....
۶۲	۸-۲. ارزیابی دوره ای عملکرد.....
۶۳	۸-۲-۱. روش مبتنی بر تحلیل ثبات خطا و وقایع.....
۶۴	۸-۲-۲. روش مبتنی بر آزمون میدانی.....
۶۶	پیوست (الف) - تنظیم توابع حفاظتی رله دیجیتال بکاررفته در انشعاب فیدر فشار متوسط (R3).....
۶۶	الف-۱. تنظیم تابع جریان زیاد آنی (50).....
۶۶	الف-۲. تنظیم تابع جریان زیاد تاخیری (51).....
۶۸	الف-۳. روش هماهنگی توابع حفاظتی خطای زمین انشعاب (R3) در شبکه های ۱۱ و ۲۰ کیلوولت....
۷۱	الف-۴. روش هماهنگی توابع حفاظتی خطای زمین انشعاب (R3) در شبکه ۳۳ کیلوولت.....
۷۲	الف-۵. تعیین جریان نامی و مشخصه عملکرد فیوز حفاظت انشعاب.....

۱. اهداف و محدوده کاربرد

یکی از روشهای موثر برای بهبود قابلیت اطمینان شبکه های توزیع، استفاده از رله های حفاظتی مدرن می باشد که علاوه بر داشتن دقت بالا و حساسیت مناسب در تشخیص خطا در ناحیه عملکرد، از پایداری نسبتا مناسبی نیز برخوردار هستند. به علاوه رله های دیجیتال در زمره تجهیزات اصلی برای توسعه شبکه هوشمند توزیع برق تلقی شده و باید از این منظر نیز به نیازمندی های آن و میزان فراگیر شدن استفاده از آن در شبکه پرداخته شود. به منظور استفاده از این تجهیز لازم است اولاً فلسفه حفاظت شبکه توزیع به درستی تدوین شود تا مشخص گردد که در چه بخش هایی و با چه اهدافی بایستی از رله های دیجیتال استفاده شود تا بر اساس آن بتوان الزامات فنی آنها را تعیین کرد. ثانياً توابع حفاظتی مورد نیاز و تنظیم مناسب برای هر یک از آنها تعیین گردد. ثالثاً مشخصات فنی سایر بخش های یک سیستم حفاظتی به ویژه ترانسفورماتورهای جریان نیز به درستی تعیین شود. هدف از تدوین نظام نامه حفاظت شبکه توزیع، ایجاد رویه یکسان در کلیه موارد فوق الذکر می باشد تا از تنوع نامطلوب و روشهای سلیقه ای جلوگیری شده و در مجموع حفاظت مطمئن برای شبکه توزیع فعلی و آتی با در نظر گرفتن الزامات مربوط به هوشمندسازی شبکه توزیع تامین شود. نکات کلیدی مطرح شده در نظام نامه حفاظت شبکه توزیع در شکل زیر بیان شده است.



لازم است کلیه موارد بیان شده در این سند، به هنگام توسعه یا نوسازی شبکه توزیع مورد توجه قرار گیرد. لیکن جز در مواردی که در ابلاغیه های مبتنی بر نظام نامه حفاظت شبکه توزیع تصریح خواهد شد، نیاز به تغییر در شبکه توزیع برای انطباق با نیازمندی های بیان شده در این سند وجود ندارد.

محدوده کاربرد این نظام نامه شامل حفاظت تجهیزات موجود در شبکه توزیع برق نظیر ترانسفورماتور و بانک خازنی و همچنین حفاظت فیدرهای فشار متوسط می باشد. ضمناً الزامات حفاظت مولدهای مقیاس کوچک و حفاظت محل اتصال این مولدها به شبکه توزیع در این دستورالعمل بیان نشده است. در صورتی که بخشی از نظام نامه در مرحله اجرا مبهم و نیازمند تفسیر باشد، لازم است در این خصوص با دفتر معاونت هماهنگی توزیع شرکت توانیر مکاتبه به عمل آید تا در این خصوص تعیین تکلیف شود.

۲. تعریف واژگان و اصطلاحات تخصصی

تجهیز الکترونیکی هوشمند (Intelligent Electronic Device – IED): وسیله ای مجهز به پردازشگر با قابلیت دریافت و ارسال داده به یک تجهیز خارجی که وظیفه اصلی آن می تواند اندازه گیری، کنترل یا حفاظت باشد ولی معمولاً وظایف جانبی متعددی بر عهده دارد.

تابع حفاظتی (Protection Function): در رله های دیجیتال چندین تابع حفاظتی بصورت نرم افزاری پیاده سازی می شود و بر اساس پارامترهایی نظیر جریان هر فاز، جریان مولفه های متقارن، ولتاژ، امپدانس و غیره عملکرد داشته باشد.

حد عملکرد (Pickup): حد دامنه سیگنال الکتریکی (نظیر ولتاژ یا جریان) که در صورت تعدی از مقدار تنظیمی، تابع حفاظتی مربوطه فرمان تریپ صادر می کند. مثلاً در رله جریان زیاد، به آن جریان حد عملکرد گویند که با افزایش جریان از این مقدار، رله تریپ می دهد.

مشخصه زمان ثابت (Definite Time Characteristic): تابع حفاظتی که در صورت افزایش جریان از حد عملکرد در زمان تنظیم شده، تریپ می دهد.

مشخصه آنی (Instantaneous Characteristic): نظیر مشخصه زمان ثابت می باشد ولی تاخیر اضافی برای عملکرد رله در نظر گرفته نمی شود.

مشخصه معکوس (Inverse Characteristic): در رله جریان زیاد با مشخصه معکوس، زمان عملکرد رله تابعی از جریان عبوری از آن می باشد. مشخصه معکوس رله مطابق استاندارد IEC 60255-3 شامل Normal Inverse (NI)، Very Inverse (VI)، Extremely Inverse (EI) و Long Time (LT) می باشد.

تمایز زمانی (Coordinated Time Interval-CTI): فاصله زمانی عملکرد رله های حفاظتی متوالی در جریان خطای مشخص (معمولا حداکثر جریان عبوری از رله پایین دست) می باشد.

تنظیم ضریب زمانی (Time Multiplier Setting-TMS): ضریبی است که زمان عملکرد تابع حفاظتی با مشخصه معکوس مبتنی بر استاندارد IEC، ارتباط مستقیمی با آن دارد.

زمان عملکرد رله (Relay Operation Time): به فاصله زمانی بین رخداد خطا تا تغییر وضعیت کنتاکت خروجی دیجیتال رله حفاظتی اطلاق می شود.

زمان پاک سازی خطا (Clearing Time): به فاصله زمانی بین رخداد خطا تا لحظه صفر شدن جریان عبوری از کلید در کلیه فازها اطلاق می شود که برابر با مجموع زمان عملکرد رله، زمان عملکرد رله کمکی و زمان باز شدن کلید (تا قطع قوس کلید در هر سه فاز) است.

محل مشترک اتصال (Point of Common Coupling-PCC): محلی است که مولد مقیاس کوچک را به شبکه سراسری متصل نموده یا با قطع کلید موجود در این محل می توان مولد را بصورت جزیره ای بهره برداری کرد.

تعاریف بانک خازنی: یک بانک خازنی فشار متوسط حداقل از سه عدد واحد خازنی تشکیل شده است که با اتصال ستاره بسته شده اند. هر واحد خازنی مشتمل بر تعدادی المان خازنی است که با یکدیگر سری و موازی می شوند.

تجهیز کلیدزنی: منظور تجهیزاتی است که قابلیت قطع جریان عبوری را داشته که می تواند یکی از انواع تجهیزات زیر باشد.

- کلید قدرت: قادر به قطع جریان اتصال کوتاه با دامنه مشخص می باشد که به دژنکتور نیز معروف است. ممکن است کنترل کننده یا رله حفاظتی برای فرمان از راه دور نداشته باشد.
- رکلوزر: از یک کلید قدرت خاص با قابلیت های بیشتر نسبت به دژنکتور استفاده می نماید (نظیر تعداد مجاز بیشتر در دفعات قطع و وصل در یک زمان کوتاه تحت جریان اتصال کوتاه). ضمنا مجهز به یک رله حفاظتی و کنترل کننده برای ارسال فرمان بصورت محلی و یا از راه دور نیز می باشد.

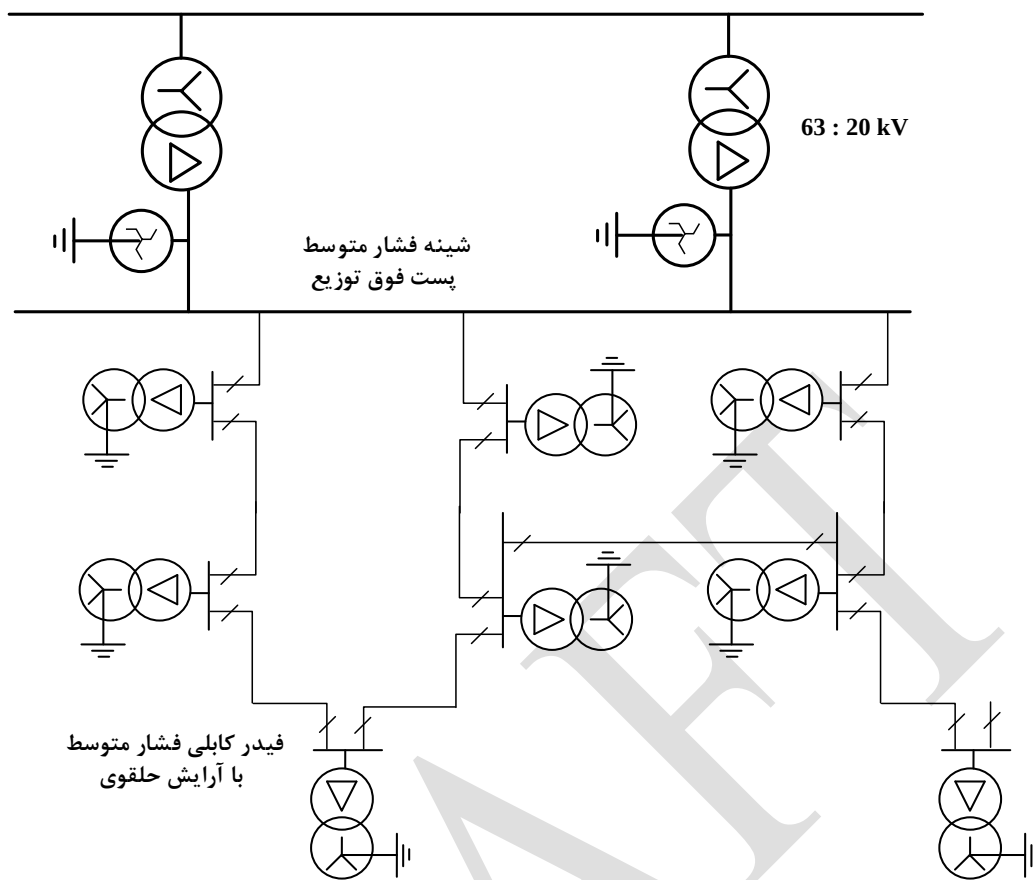
- سکسیونر قابل قطع زیر بار (Load Break Switch-LBS): فقط قادر به قطع جریان نامی است و در مدل موتوردار قابل پایش از مرکز کنترل، می تواند از یک کنترل کننده، نشانگر خطا و رله حفاظتی نیز برای عملکرد بصورت محلی یا در ارتباط با مرکز کنترل استفاده نماید.

افعال تاکیدی : کلماتی که برای تاکید در این دستورالعمل استفاده شده است، حاوی مفاهیمی به شرح زیر هستند :

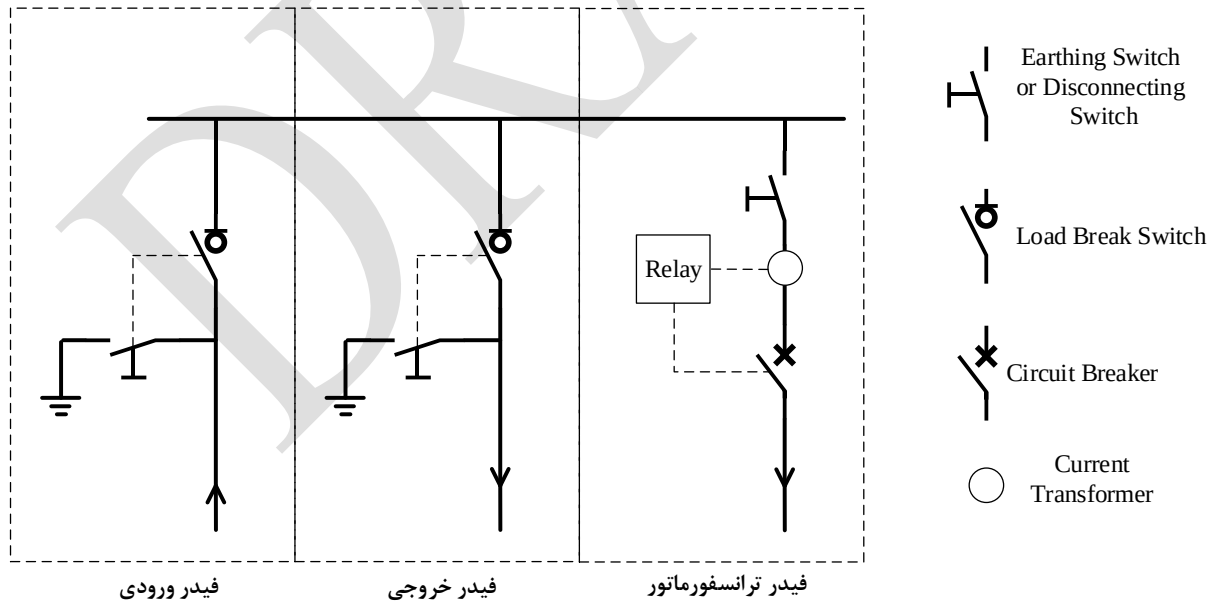
- **"الزامی است"** یا **"لازم است"** با یک مفهوم استفاده شده است و بیانگر تاکید شدید است که نباید از آن تعدی شود. **"قابل قبول نمی باشد"** نیز با همین مفهوم و به شکل منفی بکاررفته است. در خصوص چنین مواردی، اگر استفاده کننده بخواهد روش دیگری غیر از موارد بیان شده در این دستورالعمل را انجام دهد، بایستی با ذکر دلایل توجیهی با شرکت توانیر مکاتبه نماید تا در صورت نیاز نسبت به اصلاح دستورالعمل یا ارایه توضیحات اقدام شود. بنابراین به هنگام ممیزی وضعیت سیستم حفاظتی در شرکت توزیع، بایستی مجوز کتبی از شرکت توانیر برای تعدی از بندهای حاوی افعال تاکیدی فوق الذکر ارایه شود.
- **"توصیه می شود"** تاکید کمتری از حالت قبل دارد. این اصطلاح برای بیان روش نسبتاً مطلوب یا مقدار پیش فرض برای یک پارامتر استفاده شده است. ضمناً **"توصیه نمی شود"** نیز با همین مفهوم و به شکل منفی بکاررفته است. لیکن در صورتی که استفاده کننده از این سند اطلاعات دقیقتری در اختیار دارد، می تواند با مسوولیت خود از توصیه استاندارد تعدی نماید. ضمناً به هنگام ممیزی وضعیت حفاظتی در شرکت توزیع، بایستی دلایل توجیهی مناسب برای تعدی از بندهایی که بر خلاف توصیه استاندارد عمل شده است، ارایه گردد.
- **"می توان"** به عنوان یک توصیه ضعیف تلقی شده و تاکید کمتری برای رعایت این نیازمندی نسبت به دو حالت قبلی وجود دارد. یعنی تعدی از آن در صورت داشتن اطلاعات دقیقتر بلامانع است و مسوولیتی متوجه وی نمی شود.

۳. مقدمه ای بر حفاظت شبکه توزیع

الف. اگرچه بهره برداری از شبکه فشار متوسط بصورت شعاعی انجام می شود، ولی طراحی شبکه توزیع زمینی که در مناطق شهری متداول است، مطابق شکل (۱) بصورت رینگ می باشد. بنابراین در محل هر پست زمینی، همانطور که در شکل (۲) مشاهده می شود، علاوه بر فیدر ترانسفورماتور، حداقل یک فیدر ورودی و یک فیدر خروجی به باس بار فشار متوسط نیز متصل شده است که لااقل یکی از این دو فیدر مجهز به سکسیونر قابل قطع زیر بار یا کلید قدرت می باشد. بعلاوه مطابق شکل (۳) گاهی چندین فیدر ورودی و یا خروجی در پست توزیع زمینی استفاده می شود.



شکل (۱) نمونه ای از شبکه فشار متوسط زمینی با طراحی حلقوی و از چند سو تغذیه

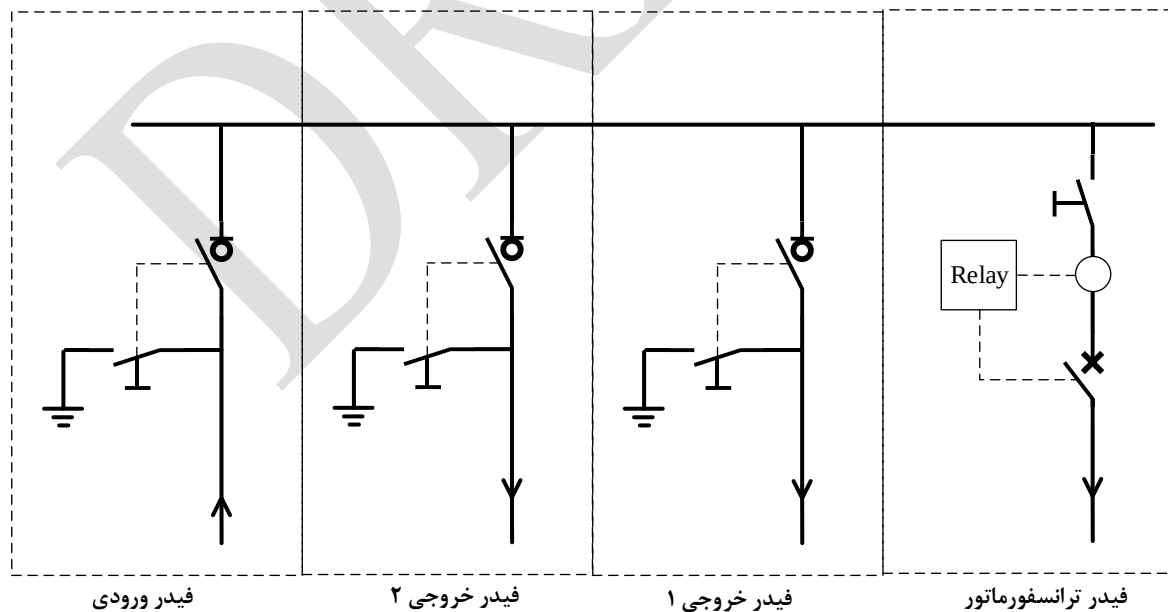


شکل (۲) نقشه تک خطی پست توزیع زمینی نمونه با یک فیدر ورودی، یک فیدر خروجی و یک فیدر متصل به ترانسفورماتور

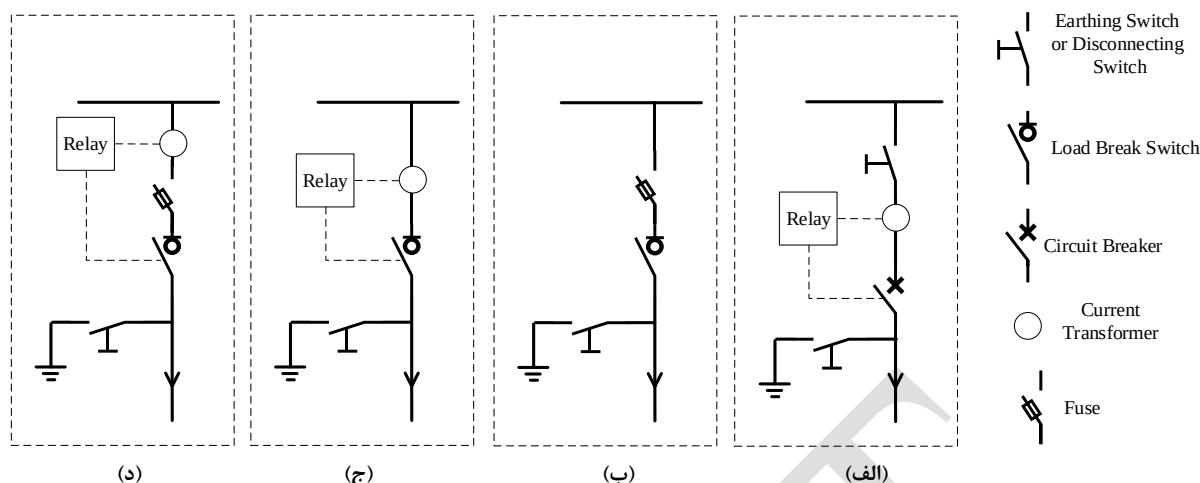
تبصره: استفاده از فیوز با عملکرد تک فاز در فیدرهای ورودی و خروجی کابلی، به دلیل رخداد فرورزناس در اثر سوختن فیوز یک فاز، مجاز نمی باشد.

ب. آرایش های قابل قبول فیدر ترانسفورماتور در ادامه بیان شده است:

- کلید قدرت که معمولاً با یک سکسیونر غیر قابل قطع زیر بار سری است. در این ساختار که در ترانسفورماتور با توان نامی بکار می رود از رله ثانویه برای حفاظت ترانسفورماتور استفاده می شود (شکل ۴-الف).
- سکسیونر قابل قطع زیر بار به همراه فیوز سری که به سکسیونر فوزیبل معروف است و در ترانسفورماتورهای با ظرفیت پایین مورد استفاده قرار می گیرد (شکل ۴-ب). از فیوز برای قطع جریان خطا و از سکسیونر برای قطع و وصل ترانسفورماتور در شرایط عادی عملکرد استفاده می شود.
- سکسیونر قابل قطع زیر بار بدون فیوز سری که از رله ثانویه برای حفاظت ترانسفورماتور استفاده می شود و بخشی از انواع خطای ترانسفورماتور که جریان آنها کمتر از حد تحمل سکسیونر است را قطع نماید. در این ساختار، رله حفاظتی به ازای جریان بیش از حد تحمل سکسیونر فرمان تریپ صادر نمی کند (شکل ۴-ج).
- ترکیب سکسیونر فوزیبل و رله ثانویه نیز برای پوشش خطاهای با جریان کمتر از مقدار نامی سکسیونر توسط رله و پوشش اتصال کوتاه با جریان بالا توسط فیوز قابل قبول است (شکل ۴-د).



شکل (۳) نقشه تک خطی پست توزیع زمینی نمونه با یک فیدر ورودی و دو فیدر خروجی



شکل (۴) آرایش های متداول فیدر ترانسفورماتور در پست توزیع زمینی از منظر تجهیزات کلیدزنی و حفاظت

ج. شبکه توزیع هوایی عموماً در مناطق خارج از شهرهای بزرگ اجرا می شود. برای این منظور می توان از هادی لخت، هادی روکش دار یا کابل های خودنگهدار استفاده کرد. در خصوص شبکه هوایی نکات زیر حائز اهمیت است.

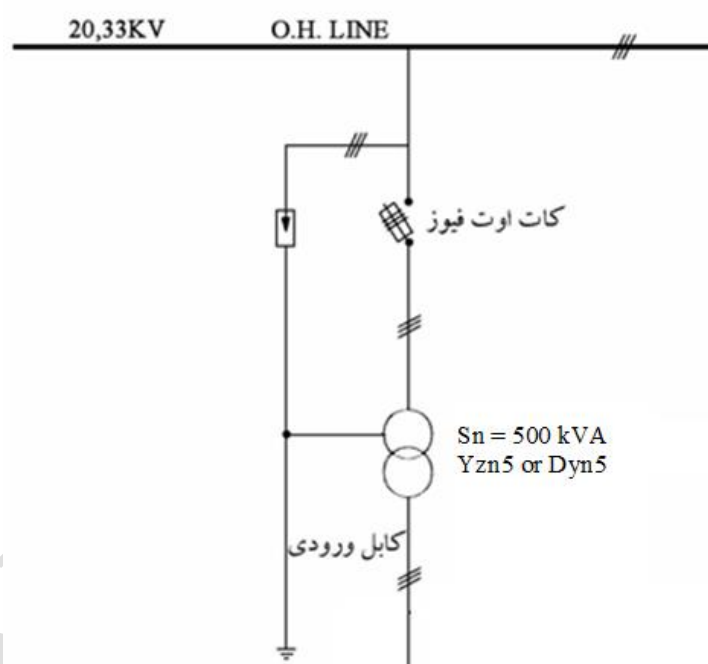
- تعداد نقاط مانور در شبکه توزیع هوایی عموماً کمتر از شبکه توزیع زمینی بوده و حتی ممکن است طراحی آن بصورت شعاعی انجام شود.
- بر خلاف پست های توزیع در شبکه زمینی که مطابق شکل های (۲) و (۳) معمولاً دارای فیدرهای ورودی و خروجی مجهز به وسیله کلیدزنی هستند، اتصال ترانسفورماتور نصب شده بر روی پایه به شبکه هوایی بصورت انشعاب (T-off) صورت می گیرد و لذا فاقد فیدرهای ورودی و خروجی است.
- به دلیل ظرفیت پایین ترانسفورماتور نصب شده بر روی پایه، به دلایل اقتصادی برای حفاظت و همچنین قطع/وصل ترانسفورماتور از کات اوت فیوز استفاده می شود. شکل (۵) نقشه تک خطی پست هوایی را نشان می دهد.

د. در صورت استفاده از رله حفاظتی دیجیتال، لازم است سایر اجزای سیستم حفاظتی نیز بکار گرفته شود که در ادامه به اختصار معرفی می شوند:

- تجهیز کلیدزنی (نظیر سکسیونر قابل قطع زیر بار یا کلید قدرت) مجهز به مکانیزم فرمان الکتریکی
- باتری یا خازن برای تغذیه رله در مدت محدود پس از قطع تغذیه از طریق شارژر (معمولاً در پست های توزیع زمینی از ۴ باتری سری با ولتاژ ۱۲ ولت و ظرفیت بالاتر از ۱۲ آمپر-ساعت

استفاده می شود. در محل سکسیونر یا رکلوزر هوایی می توان از ولتاژ نامی ۴۸ ولت یا ۲۴ ولت با ظرفیت کمتر استفاده کرد)

- مبدل AC به DC برای تغذیه رله و همچنین شارژ باتری یا خازن
- تامین ولتاژ AC مطمئن به عنوان ورودی شارژر (در پست های توزیع زمینی معمولاً از ترانسفورماتور ولتاژ نصب شده بین دو فاز برای تغذیه شارژر استفاده می شود. در محل سکسیونر و رکلوزر هوایی می توان برای کاهش هزینه، از شبکه فشار ضعیف مجاور استفاده نمود، البته مشروط به اینکه پس از باز کردن سوئیچ، بی برق نشود).



شکل (۵) تک خطی نمونه ترانسفورماتور توزیع هوایی

۴. تدوین طرح حفاظت شبکه توزیع

۴-۱. فلسفه حفاظت شبکه توزیع

۴-۱-۱. استفاده از رله حفاظتی چندمنظوره در طول فیدر

الف. امروزه منابع سخت افزاری موجود در یک رله یا کنترل کننده به اندازه ای بالا است که می تواند با کاربردهای مختلفی نظیر اندازه گیری پارامترهای الکتریکی مختلف، کنترل تجهیز مورد نظر، حفاظت تجهیز یا شبکه و در نهایت برقراری ارتباط با سایر تجهیزات و همچنین با مرکز کنترل نیز بکار برود. به همین دلیل مفهوم جدیدی به نام تجهیز الکترونیکی هوشمند (^۱IED) ایجاد شده است که به چنین تجهیزاتی چند

^۱ Intelligent Electronic Device (IED)

منظوره اطلاق می شود. این تجهیزات باعث تغییر فلسفه حفاظت شبکه و به ویژه ادغام بیش از پیش از پیش حفاظت و اتوماسیون شبکه توزیع شده اند.

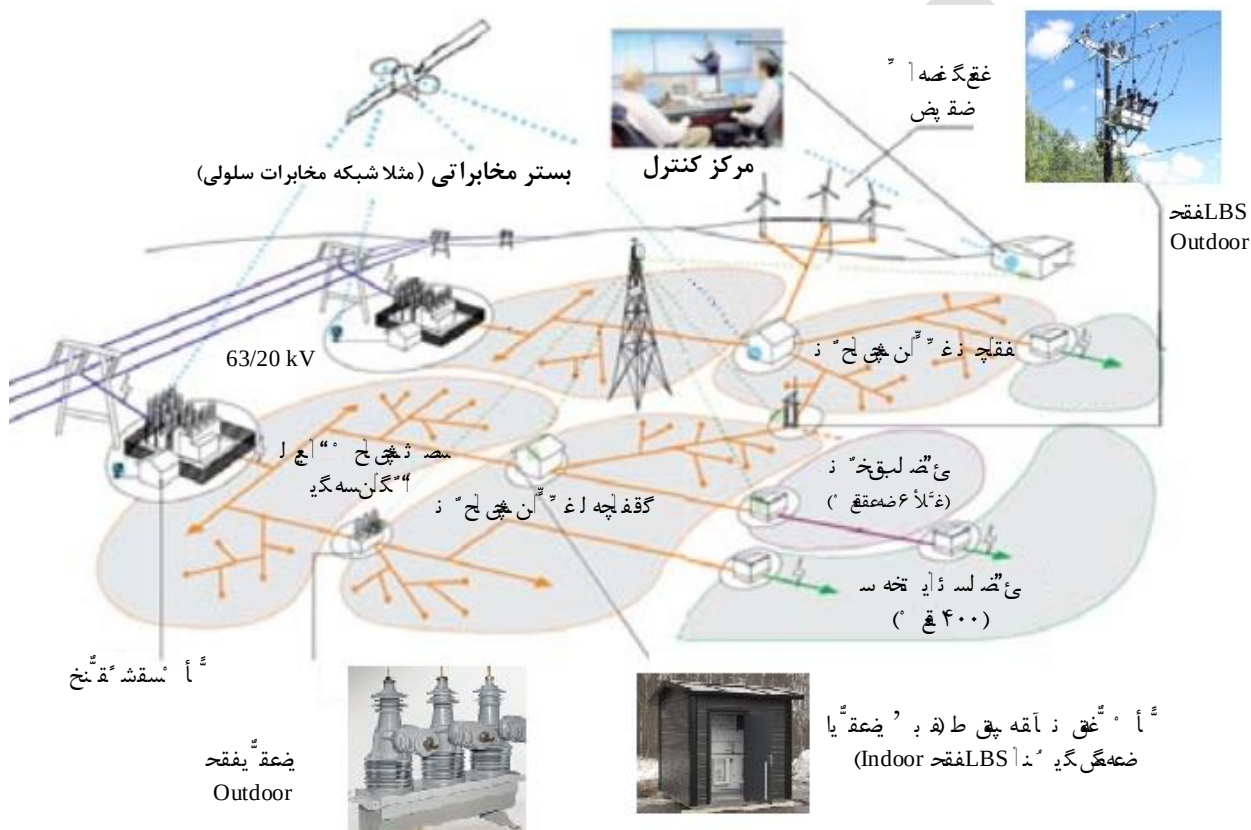
ب. در صورتی که تجهیز کلیدزنی در طول یک فیدر یا انشعاب بکار می رود (شامل کلید قدرت، رکلوزر یا سکسیونر قابل قطع زیر بار موتور دار قابل کنترل از دوردست)، لازم است کنترل کننده آن از نوع IED باشد تا بتواند به منظور خودترمیمی خودکار در شبکه (بصورت محلی یا بصورت متمرکز از طریق مرکز کنترل) نیز استفاده گردد. یعنی می توان از IEDها و تجهیزات کلیدزنی بکار رفته در طول فیدر، برای مکان یابی خطا، ایزوله کردن بخش معیوب، بازگرداندن بخشهای سالم شبکه به سرویس و در نهایت تغییر آرایش شبکه برای بهره برداری از آن در حالت عادی، استفاده کرد که ویژگی های آن در بخش ۴-۲ تعیین شده است.

ج. توصیه می شود که در هر فیدر فشار متوسط بین ۱ تا ۵ دستگاه IED به همراه تجهیز کلید زنی، با هدف بهبود رویت پذیری، کنترل و حفاظت شبکه توسط شرکت توزیع استفاده شود. استفاده از IED با قابلیت های مربوط به یک رله حفاظتی (در طول فیدر یا در ابتدای یک انشعاب) نه تنها باعث جلوگیری از گسترش خاموشی در صورت رخداد خطا در شبکه پایین دست آن می شود، بلکه با اجرای فرایندهای اتوماسیون می تواند بصورت مضاعف در بهبود شاخص های قابلیت اطمینان اثرگذار باشد. برای دستیابی به چنین ویژگی هایی موارد زیر توصیه می شود:

- در طول شاخه اصلی یا در ابتدای انشعاب های بزرگ در هر فیدر فشار متوسط، حداقل یک دستگاه تجهیز کلیدزنی به همراه IED مربوطه استفاده شود.
- لازم است انتخاب نوع تجهیز کلیدزنی (رکلوزر، کلید قدرت یا سکسیونر قابل قطع زیر بار) و محل نصب آن بر اساس مطالعات بهینه سازی و با در نظر گرفتن نرخ رخداد خطا در فیدر پایین دست، مدت زمان متوسط اطلاع از خاموشی، مدت زمان متوسط دسترسی به فیدر و انجام تعمیرات، طول فیدر، جریان بار عبوری از آن و میزان اهمیت بارهای متصل به فیدر تحت حفاظت انجام شود.
- در صورتی که اتصال کوتاه در انتهای فیدر توسط رله ابتدای فیدر قابل تشخیص نباشد، لازم است از رله در طول فیدر استفاده شود. محل نصب رله باید به نحوی باشد که اتصال کوتاه فاز به فاز و همچنین اتصال کوتاه فاز به زمین (به ترتیب با در نظر گرفتن مقاومت محل خطای برابر با ۵ اهم و ۲۵ اهم) در انتهای فیدر یا در محل نصب رله پایین دست، قابل تشخیص باشد.
- لازم است از CT با هسته حفاظتی به منظور اندازه گیری جریان استفاده شود. ضمناً توصیه می شود که اندازه گیری ولتاژ در محل IED نیز به کمک مقره اندازه گیری ولتاژ انجام شود. در مورد کلاس دقت و سایر ویژگی ها رعایت مشخصات فنی بیان شده در بخش ۵-۴ الزامی است.

- لازم است تجهیز کلیدزنی دارای مکانیزم عملکرد سریع (فتر شارژ شونده با موتور یا مکانیزم سولونوئیدی) باشد، به نحوی که زمان قطع حداکثر جریان مجاز، به ۱۰۰ میلی ثانیه محدود شود.
- به دلیل محدودیت زمان رفع خطا در پست فوق توزیع، توصیه می شود حداکثر تعداد مجاز رله حفاظتی متوالی در طول یک فیدر با سطح ولتاژ ۱۱ و ۲۰ کیلوولت برابر با ۲ و در طول فیدر ۳۳ کیلوولت برابر با ۱ باشد. منظور از رله های متوالی، رله هایی است که در بیرون از پست فوق توزیع و در طول شبکه فشار متوسط نصب شده و نیاز به هماهنگی حفاظتی بین آن ها وجود دارد.
- تبصره : تعداد IED های متوالی بکار رفته در طول یک فیدر که مجهز به توابع حفاظتی هستند، می-تواند بیشتر از تعداد فوق الذکر باشد ولی توصیه می شود که برخی از آنها به عنوان نشانگر خطا استفاده شود یا فقط برخی توابع حفاظتی در آنها فعال شود که نیاز به رفع خطای سریع ندارد (نظیر اضافه بار، تشخیص قطع یک فاز و غیره).
- لازم است تمهیدات مورد نیاز برای پایش IED و تجهیز کلید زنی مربوطه از مرکز کنترل در نظر گرفته شود. البته ممکن است در زمان اجرای پروژه تجهیزات مخابراتی مورد نیاز (شامل RTU، مودم و بستر فیزیکی انتقال داده) پیاده سازی نشود، ولی در نظر گرفتن قابلیت های مورد نیاز برای انجام آن الزامی است. مثلاً لازم است IED امکان ارتباط با مرکز کنترل را داشته باشد و طراحی تابلوی فرمان در تجهیز کلیدزنی باید به نحوی باشد که قابلیت نصب سایر تجهیزات مورد نیاز برای این منظور را داشته باشد.
- تبصره : برای اینکه IED امکان ارتباط با مرکز کنترل را داشته باشد، در نظر گرفتن یکی از ویژگیهای زیر الزامی است:
 - IED دارای پورت ارتباطی با RTU به کمک پروتکل استاندارد (نظیر Modbus RTU) باشد.
 - IED دارای پورت ارتباطی با مودم برای تبادل داده با مرکز کنترل تحت پروتکل DNP3 باشد.
 - IED مجهز به مودم بوده و مستقیماً با مرکز تحت پروتکل DNP3 ارتباط داشته باشد.
- د. به هنگام استفاده از چند IED به همراه تجهیز کلیدزنی در طول فیدر، هر IED به نحوی تنظیم می شود که یک زون حفاظتی را تحت پوشش قرار دهد و با IED بکار رفته در زون پایین دست هماهنگ شود. نمونه ای از زون بندی حفاظت فیدر فشار متوسط در شکل (۶) نشان داده شده است. در این خصوص نکات زیر حائز اهمیت می باشد:
- در شبکه توزیع هوایی می توان از رکلوزر و سکسیونر قابل قطع زیر بار از نوع قابل نصب روی تیر استفاده کرد.

- در صورتی که محلی در شبکه توزیع هوایی وجود دارد که دارای چندین انشعاب فرعی است، یک روش فنی و اقتصادی این است که بجای نصب تجهیزات Outdoor، اتاقکی نصب شود که در آن تجهیزات Indoor بکار رفته است. یعنی یک پست توزیع زمینی از نوع سوئیچینگ ایجاد می شود. در آن می توان انواع سوئیچ ها به همراه رله حفاظتی را مورد استفاده قرار داد.
- در تامین و نصب سوئیچ های جدید بایستی به این موضوع توجه شود که لازم است قابلیت تبادل اطلاعات با مرکز کنترل را نیز داشته باشند تا بتوان در توسعه شبکه هوشمند از آنها استفاده کرد.



شکل (۶) نمونه ای از زون بندی حفاظت فیدر فشار متوسط به کمک تجهیزات نصب شده در فضای آزاد یا داخل ساختمان

ه. بصورت کلی روشهای مناسب برای حفاظت فیدر شامل موارد زیر است :

- حفاظت انشعاب هوایی/زمینی مهم با رکلوزر یا ترکیب کلید و رله
- حفاظت انشعاب هوایی/زمینی معمولی با کمک LBS به همراه رله حفاظتی مربوطه
- حفاظت انشعاب هوایی/زمینی غیرمهم با فیوز با مکانیزم قطع سه فاز
- حفاظت انشعاب هوایی کم اهمیت با کات اوت فیوز

انتخاب هر یک از روشهای فوق بر اساس مطالعات بهینه سازی با تابع هدف کاهش هزینه های بهره برداری و در نظر گرفتن بهبود قابلیت اطمینان انجام می شود. برای این منظور باید قیود فنی به شرح زیر توجه شود.

- اگر در شبکه تحت حفاظت فیوز از کابل فشار متوسط با طول بیش از ۱۰ متر استفاده شده باشد، نمی توان از کات اوت فیوز تکفاز استفاده کرد و لازم است مکانیزم فرمان قطع فیوز بصورت سه فاز باشد.
- در صورتی که فاصله محل نصب تجهیز کلیدزنی از پست فوق توزیع بالادست در سطوح ولتاژ ۱۱ و ۲۰ به ترتیب بیشتر از ۱۳ و ۲۰ کیلومتر باشد، به منظور کاهش هزینه ها توصیه می شود از LBS بجای کلید قدرت استفاده شود. لازم به ذکر است که در این حالت امکان قطع جریان خطای فاز به زمین توسط LBS وجود دارد.

۴-۱-۲. روش پیشنهادی برای حفاظت ترانسفورماتور

الف. برای حفاظت ترانسفورماتور پست زمینی لازم است یکی از طرح های زیر بکار رود:

- سکسیونر قابل قطع زیر بار موتوردار با مکانیزم عملکرد تک فنره بصورت سری با فیوز
- سکسیونر قابل قطع زیر بار موتوردار با مکانیزم عملکرد دو فنره به همراه رله دیجیتال
- سکسیونر قابل قطع زیر بار موتوردار با مکانیزم عملکرد دو فنره به همراه رله دیجیتال و فیوز
- کلید قدرت به همراه رله دیجیتال

ب. استفاده از رله حفاظتی مستلزم تامین تغذیه مناسب، بکارگیری رله حفاظتی و CT با مشخصات فنی مطلوب و سرویس به موقع از تجهیزات سیستم حفاظتی است. در نتیجه لازم است که مشخصات فنی تمامی تجهیزات مذکور مناسب باشد تا بتوان از کارایی مطلوب رله دیجیتال برای حفاظت ترانسفورماتور و پیاده سازی فرایندهای هوشمندسازی شبکه استفاده نمود.

ج. در پست های توزیع زمینی اختصاصی، نصب کلید قدرت و رله حفاظتی دیجیتال در ترانسفورماتور با ظرفیت برابر یا بزرگتر از ۶۳۰ کیلوولت آمپر الزامی است. در ظرفیت ۵۰۰ کیلوولت آمپر و کمتر، لازم است یکی از روشهای زیر استفاده شود:

- بکارگیری رله حفاظت دیجیتال به همراه کلید قدرت
- بکارگیری رله حفاظت دیجیتال، LBS با مکانیزم دو فنره (برای قطع سریع جریان خطا با دامنه کمتر از مقدار نامی LBS) و فیوز (برای قطع سریع جریان خطای بزرگتر از استفاده نماید. ضمناً توصیه می شود که در این حالت، جریان نامی فیوز کمتر از ۱۴۰ آمپر نباشد.

د. در پست توزیع زمینی عمومی توصیه می شود موارد زیر در خصوص حفاظت ترانسفورماتور رعایت گردد.

- در کلیه پست‌های توزیع قابل پایش از مرکز کنترل (یعنی مجهز به دستگاه اندازه‌گیری، RTU و مودم)، صرف نظر از ظرفیت ترانسفورماتور، از رله دیجیتال برای حفاظت ترانسفورماتور استفاده شود.
- در پست‌های توزیع عمومی که مستقیماً پایش نمی شوند، در صورتی که ظرفیت ترانسفورماتور برابر یا بزرگتر از ۸۰۰ کیلوولت آمپر است، از رله حفاظت دیجیتال استفاده شود.
- در پست‌های توزیع عمومی که مستقیماً پایش نمی شوند و بیش از نصف طول شبکه فشار متوسط بالادست آن از نوع هوایی (هادی لخت، هادی روکش دار یا کابل خودنگهدار) است، به دلیل اینکه خطر قطع تک‌فاز وجود دارد، به ازای ظرفیت ترانسفورماتور برابر یا بزرگتر از ۶۳۰ کیلوولت آمپر توصیه می شود که از رله حفاظت دیجیتال استفاده شود.
- در سایر پست‌های زمینی عمومی توصیه می شود که از فیوز برای حفاظت ترانسفورماتور استفاده شود. البته لازم است قابلیت نصب رله دیجیتال در تابلوی فشار متوسط ترانسفورماتور در نظر گرفته شود.

۳-۱-۴. انتخاب تجهیز کلیدزنی

الف. برای کنترل و حفاظت ترانسفورماتور توزیع و فیدر فشار متوسط می‌توان یکی از گزینه‌های زیر را به عنوان تجهیز کلیدزنی انتخاب نمود:

- استفاده از کلید قدرت برای اینکه قادر به قطع جریان اتصال کوتاه با دامنه بالا باشد.
- استفاده از سکسیونر قابل قطع زیر بار با جریان نامی برابر یا بزرگتر از ۶۳۰ آمپر، برای اینکه فقط جریان خطا تا مقدار جریان نامی را قطع نماید. در واقع در صورت افزایش جریان از این حد، رله حفاظتی قفل شده و باید اتصال کوتاه را توسط رله بالادست قطع نمود. در چنین شرایطی، می‌توان از این LBS برای رفع انواع خطایی استفاده کرد که جریان بزرگی را در شبکه جاری نمی‌کند. موارد زیر از جمله این حالت‌ها هستند که جریان عبوری از LBS عموماً کم می‌باشد:

- خطای قطع یک فاز در فیدر فشار متوسط بالادست
- خطای فاز به زمین در قسمت‌های انتهایی سیم‌پیچ فشار قوی
- اتصال کوتاه در بخشی از سیم‌پیچ فشار قوی یا فشار ضعیف
- اضافه بار حرارتی ترانسفورماتور
- خطای زمین در سمت فشار ضعیف ترانسفورماتور

- اضافه دمای ترانسفورماتور یا فیدر ناشی از وصل مجدد مکرر توسط رکلوزر موجود در فیدر
- عملکرد رله‌های مکانیکی ترانسفورماتور شامل ترمومتر روغن (به ویژه پایدار شده توسط اندازه‌گیری جریان) و بوخهلتنس

بعلاوه می‌توان از توابع نظارتی نظیر تشخیص فرسودگی بیش از حد مکانیزم قطع قوس در LBS نیز بهره برد و پیغام آلارم صادر کرد.

ب. در صورتی که برای کاهش هزینه ساخت و بهره برداری پست توزیع، بجای کلید قدرت و رله دیجیتال، از سکسیونر قابل قطع زیر بار (LBS) به همراه فیوز استفاده گردد، توصیه می‌شود که تامین تجهیزات و طراحی پست به نحوی باشد که با در نظر گرفتن تمهیدات زیر قابلیت ارتقای سیستم حفاظت وجود داشته باشد.

- LBS دارای مشخصات فنی مناسب به شرح زیر برای قطع و وصل از راه دور باشد.

- کلاس الکتریکی LBS که بیانگر تعداد مجاز قطع و وصل تحت جریان نامی و جریان اتصال کوتاه است، از نوع E3 انتخاب شود.
- کلاس مکانیکی که بیانگر تعداد مجاز قطع و وصل در حالت بدون عبور جریان است، از نوع M2 انتخاب شود.
- مکانیزم فرمان از نوع دو فنره و موتوردار باشد. برای این منظور فنر قطع به هنگام وصل کلید در حالت شارژ قرار داشته و در نتیجه انتظار می‌رود که زمان بازشدن LBS از لحظه ارسال فرمان ۱، کمتر از ۱۰۰ میلی ثانیه باشد.
- می‌توان برای کاهش هزینه، از نصب موتور برای شارژ فنر بر روی مکانیزم فرمان در زمان خرید LBS صرف نظر کرد؛ ولی بایستی قابلیت نصب آن به سادگی امکان پذیر باشد و نیازی به اعمال هیچ تغییری برای این منظور در مکانیزم فرمان نباشد.
- تبصره: اکثر تابلوهایی که در حال حاضر در پست‌های توزیع مورد استفاده قرار می‌گیرند، تحمل فشار و دمای بالای قوس ناشی از خطای داخل تابلو را ندارند (به اصطلاح Arc Proof نیستند). بنابراین در صورت قطع و وصل سکسیونر با مکانیزم دستی، خطر شعله ناشی از قوس و فشار ناشی از قوس وجود دارد که آسیب جانی شدید به بهره‌بردار وارد می‌کند. بنابراین اکیدا توصیه می‌شود که هم برای در نظر گرفتن ملاحظات ایمنی و هم برای امکان استفاده در شبکه هوشمند، همه سکسیونرهای جدید مورد استفاده در شبکه توزیع زمینی مجهز به مکانیزم موتوری بوده و بصورت الکتریکی فرمان‌پذیر باشند. برای کاهش هزینه‌ها،

تغذیه موتور و کویل وصل و قطع سکسیونر می تواند توسط برق AC فشار ضعیف موجود در پست تامین شود.

○ قابلیت نصب سه عدد مقره اندازه گیری ولتاژ وجود داشته باشد (می توان در زمان احداث پست، از مقره معمولی استفاده کرد)

- امکان افزودن CT حلقوی برای اندازه گیری جریان عبوری از آن وجود داشته باشد. حتی در صورت نیاز به نگهدارنده فلزی در کف تابلو، مناسب است که در تابلو نصب شود.
- امکان اضافه کردن رله حفاظتی، باتری و شارژر در بخش فشار ضعیف تابلو وجود داشته باشد یا اینکه محل مناسبی برای نصب تابلوی جدیدی که این تجهیزات در داخل آن قرار گیرند، در نظر گرفته شود.

ج. توصیه می شود که چنانچه در انشعاب بالادست یا در طول فیدر فشار متوسط از رکلوزر یا از کلید قدرت به همراه رله حفاظت دیجیتال استفاده شده است و بکارگیری تجهیز کلیدزنی به همراه رله حفاظتی در پایین دست مورد نظر باشد، برای این منظور از LBS با مکانیزم دو فنره بجای کلید قدرت استفاده شود. زیرا صرفه جویی مناسبی در هزینه اجرای پست به دنبال خواهد داشت.

د. در شرایط زیر استفاده از LBS بجای کلید قدرت برای کلیدزنی ترانسفورماتور در شرایط رخداد خطا توصیه نمی شود. یعنی در صورت بکارگیری رله حفاظتی بایستی از کلید قدرت برای کلیدزنی استفاده شود.

- در صورتی که ترانسفورماتور توزیع تحت بار، بیش از سه بار در ماه قطع و وصل شود.
- در صورتی که ظرفیت ترانسفورماتورهای توزیع برابر یا بزرگتر از ۱۶۰۰ کیلوولت آمپر است.
- در صورتی که شبکه فشار متوسط در پست فشار قوی بصورت مستقیم زمین شده باشد (نظیر شبکه فوق توزیع استان خوزستان که نوترال سیم پیچ ۳۳ کیلوولت ترانسفورماتور فشار قوی بصورت مستقیم به زمین وصل شده باشد).

۴-۱-۴. نیازمندی حفاظتی برای هادی روکش دار^۱ و کابل خودنگهدار

الف. تشخیص رخداد اتصال کوتاه فاز به زمین در هادی های روکش دار و کابل خودنگهدار که در شبکه هوایی مورد استفاده قرار می گیرند، به دلیل امپدانس بالای محل خطا، عموماً توسط رله های خطای زمین یا خطای زمین حساس (SEF) در ابتدای فیدر فشار متوسط امکان پذیر نبوده و لذا در این فیدرها استفاده از رله مجهز به تابع حفاظتی تشخیص قطع فاز (معروف به Broken Conductor با کد ANSI معادل با 46BC) الزامی است. این تابع حفاظتی معمولاً بر اساس منطق نسبت مولفه منفی به مولفه مثبت جریان کار می کند.

¹ Covered Conductor (CC)

ب. قطع و وصل مکرر جریان خطا در هادی های روکش دار و کابل خودنگهدار به هنگام برخورد با زمین (در صورت کم بودن جریان خطا) متداول می باشد. در نتیجه برای حفاظت فیدر فشار متوسط که از این نوع هادی در آن استفاده شده است، توصیه می شود رله ای بکار رود که تابع حفاظتی خطای زمین در آن مجهز به منطق ریست تاخیری از نوع مشخصه معکوس (که به منطق Disk emulation معروف است) باشد. در صورتی که چنین مشخصه ای در رله قابل تنظیم نباشد، باید از مشخصه ریست نوع زمان ثابت استفاده شده و تنظیم زمان طولانی برای آن در نظر گرفته شود.

ج. به دلیل آسیب اضافه دما به عایق این نوع هادی ها، استفاده از تابع حفاظت در برابر اضافه بار حرارتی در شبکه ای که بیش از ۳۰ درصد از فیدر تحت حفاظت رله بصورت کابل خودنگهدار، هادی روکش دار یا کابل زمینی است و امکان رخداد اضافه بار در شرایط عملکرد عادی یا اضطراری وجود دارد، الزامی است.

۵-۱-۴. استفاده از رله دیجیتال در سمت فشار ضعیف ترانسفورماتور

الف. مازول حفاظتی اغلب کلیدهای فشار ضعیف دارای مشکلاتی به شرح زیر می باشد :

- دارای توابع حفاظتی محدودی است و نتیجه قادر به پوشش همه عیوب سمت فشار ضعیف نیست.
- برای حفاظت ترانسفورماتور در برابر اضافه بار، از بی متال یا سایر روشهای حرارتی استفاده می نماید که وابستگی زیادی به دمای محیط و جریان پیش خطا دارد.
- مشخصه عملکرد واحدهای تشخیص اتصال کوتاه و خطای زمین معمولاً با مشخصه های استاندارد رله های جریان زیاد متفاوت است که چالش هایی را برای هماهنگی حفاظتی با رله های بالادست ایجاد می کند.

برای حل این مشکلات توصیه می شود که در پست های توزیع مجهز به سیستم اتوماسیون از یک رله حفاظتی دیجیتال در سمت فشار ضعیف ترانسفورماتور به همراه CT های حلقوی با هسته حفاظتی، بجای بکارگیری مازول حفاظتی کلید اتوماتیک (که در برخی سازندگان به LSIG معروف است) استفاده گردد. برای این منظور لازم است کلید اتوماتیک فشار ضعیف، مجهز به کویل تریپ باشد و بتواند فرمان تریپ رله را بصورت الکتریکی دریافت نماید.

ب. توصیه می شود که حداقل توابع حفاظتی به شرح زیر در این رله بکاررفته باشد.

- جریان زیاد با مشخصه های معکوس، زمان ثابت و آنی
- خطای فاز به نول با مشخصه های معکوس، زمان ثابت و آنی (اندازه گیری جریان نول بصورت مستقیم یا با جمع ریاضی یا مداری جریان سه فاز)

- خطای فاز به زمین با مشخصه های معکوس و زمان ثابت (استفاده از این تابع برای تشخیص خطا در شبکه فشار ضعیف و ترانسفورماتور توصیه می شود که برای این منظور باید نوترال ترانسفورماتور توزیع به چاه زمین پست وصل شده و جریان عبوری از این هادی متصل به زمین وارد رله شود)
- اضافه بار حرارتی
- تشخیص پاره شدن هادی

ج. توصیه می شود که این رله مجهز به پروتکل مخابراتی ساده (نظیر Modbus RTU) برای ارتباط با RTU باشد.

۶-۱-۴. وصل مجدد در طول فیدر هوایی

الف. کلید قدرت مورد استفاده به عنوان رکلوزر برتری هایی نسبت به کلید قدرت معمولی دارد که در ادامه بیان شده است :

- دوره کاری^۱ کلید قدرت رکلوزر معمولاً بصورت $O-0.2(s)-CO-2(s)-CO-2(s)-CO$ است؛ در حالی که دوره کاری کلید قدرت بصورت $O-0.3(s)-CO-3(min.)-CO$ می باشد که بیانگر قابلیت بالاتر محفظه قطع و مکانیزم فرمان رکلوزر است.
- مکانیزم فرمان رکلوزر معمولاً از نوع سلونوئیدی است که آماده سازی آن برای قطع یا وصل، به مراتب سریعتر از مکانیزم فنری است که در کلیدهای قدرت معمولی، متداول است.

به دلیل ویژگی های فوق، کلید قدرت مورد استفاده در رکلوزر قیمت بالاتری نسبت به کلید قدرت معمولی دارد. ولی این ویژگی ها چندان در شبکه توزیع مورد توجه نمی باشد. به همین دلیل در اغلب کاربردها می توان از کلید معمولی بجای کلید قدرت رکلوزر استفاده نمود.

ب. رله های حفاظتی مخصوص رکلوزر ساخت شرکت های معتبر دارای توابع حفاظتی متعددی (نظیر توابع حفاظتی ولتاژی، فرکانس و غیره) هستند که عموماً مورد استفاده قرار نمی گیرند و بجای آنها می توان از رله های معمولی مجهز به تابع رکلوزر استفاده کرد.

ج. در صورت استفاده از رله معمولی برای انجام وصل مجدد در فیدر فشار متوسط، لازم است لااقل ورودی های دیجیتال با کاربردهای زیر در نظر گرفته شود.

- نظارت بر فشار گاز SF₆ (در صورتی که برای عایق کاری داخل پوشش بیرونی از آن استفاده شود)

¹ Duty Cycle

- نظارت بر بسته بودن حلقه مدار تریپ (TCS)
 - تنظیم Hot Line Mode (قفل رکلوزر به هنگام تعمیر خط گرم در فیدر تحت حفاظت)
 - تنظیم CB Lock Mode (تنظیم دستی و در شرایطی که کلید آمادگی عملکرد ندارد)
 - سلکتور سوئیچ Local / Remote (اجازه به مرکز کنترل برای قطع / وصل کلید)
 - CB Status (وضعیت باز یا بسته بودن کلید بر اساس کنتاکت کمکی)
- تبصره: با توجه به بندهای فوق الذکر برای کاهش هزینه ها می توان از کلید قدرت معمولی به همراه رله حفاظتی بجای رکلوزر استفاده کرد و نیازمندی های اصلی را تامین نمود.
- د. در بکارگیری رکلوزر در فیدرهای فشار متوسط باید به موارد زیر توجه شود:
- اگر بخشی از فیدر که تحت پوشش رکلوزر قرار دارد، عمدتاً از هادی هوایی تشکیل شده باشد، استفاده از رکلوزر در آن بلامانع است.
 - در صورتی که بیش از ۲۰ درصد یک فیدر هوایی از هادی روکش دار، کابل خودنگهدار یا کابل زمینی تشکیل شده است، استفاده از رکلوزر توصیه نمی شود.
 - در صورتی که بیش از نصف فیدر از کابل زمینی، هادی روکش دار یا کابل خودنگهدار تشکیل شده است، بکارگیری رکلوزر برای آن قابل قبول نمی باشد. زیرا رخداد اتصال کوتاه گذرا در این نوع فیدرها به ندرت اتفاق می افتد.
 - توصیه می شود که رله حفاظتی رکلوزر قادر به تشخیص نوع خطا باشد. در چنین حالتی موارد زیر مورد توجه می باشد:
- عمل وصل مجدد به هنگام رخداد اتصال کوتاه دو فاز به زمین یا سه فاز توصیه نمی شود.
 - توصیه می شود به هنگام رخداد اتصال کوتاه فاز به فاز فقط یک مرحله ۱ عمل وصل مجدد انجام شود. یعنی اگر رکلوزر از نوع چندمرحله ای ۲ باشد، فقط مرحله اول آن با تنظیم زمان مرده برابر با ۵ ثانیه فعال می شود.
 - توصیه می شود در اتصال کوتاه فاز به زمین در شبکه های ۱۱ و ۲۰ کیلوولت از دو مرحله برای وصل مجدد استفاده شود، به نحوی که تنظیم مرحله اول برابر با ۲ ثانیه و تنظیم مرحله دوم برابر با ۳۰ ثانیه باشد.
 - توصیه می شود در اتصال کوتاه فاز به زمین در شبکه ۳۳ کیلوولت از یک مرحله وصل مجدد با زمان مرده برابر با ۶۰ ثانیه استفاده شود.

¹ Shot

² Multiple-Shot

- در صورتی که رله حفاظتی رکلوزر قادر به تشخیص نوع خطا نباشد و با تغییر پیکره بندی نیز چنین کاری محقق نشود، فقط یک مرحله برای وصل مجدد در نظر گرفته شده و تاخیر زمانی آن در شبکه های ۱۱ و ۲۰ برابر با ۵ ثانیه و در شبکه ۳۳ کیلوولت، برابر با ۶۰ ثانیه تنظیم می شود.

۷-۱-۴. الزامات کلی مرتبط با رله گذاری در صورت اتصال DG

- الف. توصیه می شود فیوزهای فشار متوسط بین محل مشترک اتصال و پست فوق توزیع حذف شوند.
- ب. توصیه می شود در صورت استفاده از نشانگر خطا در طول مسیر بین محل مشترک اتصال و پست فوق توزیع، یکی از ویژگی های زیر در آن بکار رفته باشد.
 - نشانگر خطا جهت دار باشد (از ولتاژ به عنوان سیگنال پلاریزه استفاده شده باشد)
 - نشانگر خطا با مرکز کنترل در ارتباط باشد.
- ج. توصیه می شود در صورت اتصال مولد با توان بیش از ۴ مگاوات به فیدر فشار متوسط، یکی از تمهیدات زیر در رله ابتدای فیدر فشار متوسط در نظر گرفته شود.
 - افزایش تنظیم TMS در رله جریان زیاد
 - استفاده از رله جریان زیاد جهتی
- د. اگر ظرفیت نامی مولد بیشتر از حداقل بار محلی باشد و محاسبات پخش بار نشان دهنده ایجاد اضافه ولتاژ غیر مجاز در چنین شرایطی در محل مشترک اتصال باشد (حداقل به ازاء یکی از حالت های مانور در شبکه توزیع)، لازم است از رله حفاظت اضافه ولتاژ در محل مشترک اتصال با تنظیمات زیر استفاده شود.
 - در ۱,۰۵ ولتاژ نامی آلارم دهد تا نسبت به کاهش توان راکتیو و اکتیو تولیدی آن تصمیم گیری شود.
 - در ۱,۰۷ ولتاژ نامی پس از ۱۰ دقیقه کلید محل مشترک اتصال یا کلید مولد مقیاس کوچک را باز نماید.
- ه. لازم است زمان مرده رله های وصل مجدد در کلیه فیدرهای فشار متوسط در یک پست فوق توزیع که حداقل یک مولد با ظرفیت بالای ۱ مگاوات به آن متصل است، به اندازه ای افزایش یابد که قبل از وصل مجدد، نوسانات مکانیکی مولد(های) سنکرون موجود در آن شبکه میرا شود. برای تحقق این شرط توصیه می شود زمان مرده رله رکلوزر برابر یا بزرگتر از ۵ ثانیه تنظیم نمود.

۸-۱-۴. الزامات حفاظت تشخیص خطای زمین

الف. توصیه می شود برای بدست آوردن جریان مولفه صفر، مقدار آن بصورت مستقیم توسط رله اندازه گیری شود. برای این منظور می توان از روش های زیر استفاده نمود :

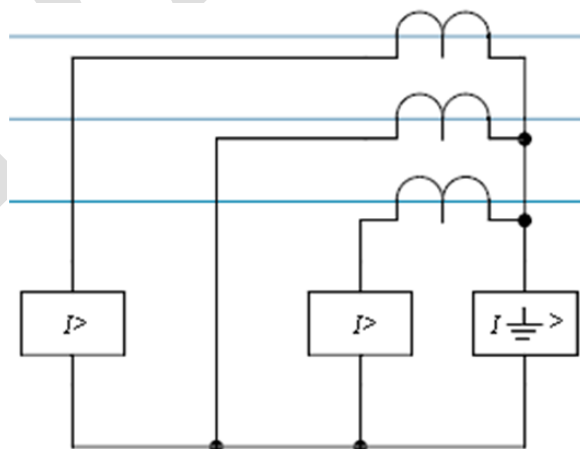
- جمع مداری جریان خروجی ترانسفورماتورهای جریان
- اندازه گیری مستقیم جریان مولفه صفر

تبصره (۱) : به دلیل افزایش خطا و عملکرد نامطلوب در برخی حالت های گذرا، توصیه می شود از روش ریاضی برای محاسبه جریان مولفه صفر در رله های جدید استفاده نشود.

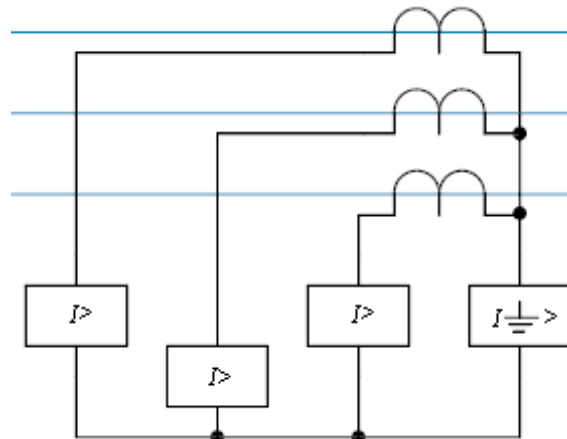
تبصره (۲) : استفاده از سه ورودی جریان در رله حفاظتی (یا IED) که یکی از آنها برای اندازه گیری جریان مولفه صفر و دو عدد برای اندازه گیری جریان دو فاز اختصاص یافته (نظیر شکل ۷)، توصیه نمی شود و مناسب است از طرح نشان داده شده در شکل (۸) استفاده شود. البته بهره برداری از مواردی که قبلا در شبکه نصب شده است، بلامانع است.

ب. در صورت استفاده از روش جمع مداری جریان خروجی CTها برای بدست آوردن جریان مولفه صفر، نکات زیر مورد توجه می باشد.

- توصیه می شود یکی از ترمینال های سمت ثانویه CTها در محل ترانسفورماتور جریان به یکدیگر وصل شود و اتصال بین CT و رله با چهار سیم برقرار شود. این کار در صورت طولانی بودن سیم بین CT و رله حفاظتی الزامی است.
- لازم است سیم نول خروجی CT فقط در داخل تابلوی حفاظت یا اندازه گیری به زمین وصل شود. به عبارت دیگر نباید سیم نول مذکور را علاوه بر تابلو، در مجاورت CT نیز به زمین وصل کرد.



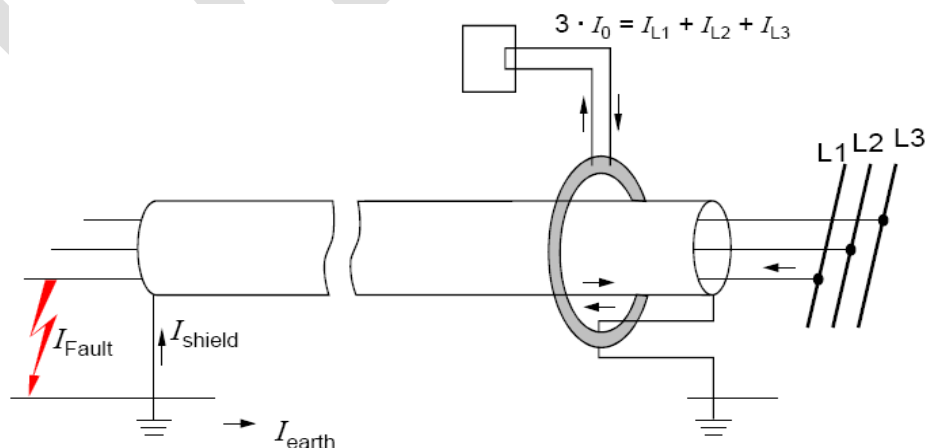
شکل (۷) اتصال نامطلوب برای رله اضافه جریان (مجهز به سه ورودی جریانی)



شکل (۸) اتصال مناسب برای رله اضافه جریان (مجهز به چهار ورودی جریانی)

ج. برای اندازه گیری دقیق جریان مولفه صفر عبوری از فیدر کابلی مجهز به شیلد زمین شده، می توان از CT تعادل شار استفاده نمود و مطابق شکل (۹)، هر سه فاز کابل را از داخل آن عبور داد. در خصوص این روش نکات زیر حایز اهمیت است:

- این روش برای حفاظت ترانسفورماتور توزیع و همچنین حفاظت بخشی از فیدر فشار متوسط قابل استفاده است. بدیهی است که فقط کابل مجهز به سیم شیلد زمین شده می تواند از داخل این نوع ترانسفورماتور جریان عبور نماید.
- برای اینکه امکان استفاده از CT با تحمل ولتاژی پایین وجود داشته باشد، لازم است سیم شیلد هر سه فاز کابل از داخل CT عبور نماید. ضمناً برای جلوگیری از ایجاد خطای اندازه گیری جریان مولفه صفر واقعی عبوری از مغزی کابل ها، لازم است مطابق شکل (۹) سیم شیلد از داخل CT برگشت داده شده و سپس به زمین وصل گردد.



شکل (۹) نحوه قرار گیری هادی ها در CT تعادل شار

- توصیه می شود که در صورت امکان، از یک واحد با تنظیم پایین برابر صدور آلام و از یک واحد با تنظیم بالاتر برای صدور تریپ توسط رله تشخیص خطای زمین استفاده شود.

۴-۲. حداقل نیازمندی اجباری و تکمیلی حفاظت اجزای سیستم توزیع

واحدهای حفاظتی و کمکی مورد نیاز در شبکه توزیع به دو دسته تقسیم شده اند. دسته اول شامل مواردی است که الزامی بوده و به عنوان شرط پذیرش رله حفاظتی برای استفاده در شبکه توزیع تلقی می شود. دسته دوم شامل مواردی است که استفاده از آنها توصیه می شود و جزء موارد امتیاز آور در برآوردهای فنی-مالی خرید رله های حفاظتی تلقی می شوند.

۴-۲-۱. توابع مورد نیاز در حفاظت فیدر فشار متوسط

الف. توابع حفاظتی و نظارتی الزامی: لازم است در رله های حفاظتی و IEDهای مورد استفاده در شبکه توزیع، توابع حفاظتی و نظارتی مندرج در جدول (۱) وجود داشته باشد. ضمناً در برخی رله های حفاظتی ممکن است چندین مرحله از هر تابع وجود داشته باشد که تعداد یک مرحله برای هر تابع به عنوان شرط الزام آور، کفایت می کند.

ب. توابع حفاظتی و نظارتی تکمیلی: توصیه می شود در رله های حفاظتی و IEDهای مورد استفاده در شبکه توزیع، توابع حفاظتی و نظارتی به شرح زیر وجود داشته باشد.

- واحد تشخیص خرابی کلید (CBF)
- واحد مونیتورینگ محفظه قطع (CB wearing)
- واحد جریان زیاد مولفه منفی یا واحد تشخیص عدم تعادل جریان (46)
- ویژگی های خاص در واحد وصل مجدد شامل:
 - قفل وصل مجدد در جریان بالا (با حد عملکرد قابل تنظیم)
 - امکان تشخیص خطای فاز به زمین و فاز به فاز از انواع دیگر خطا
 - امکان تنظیم تعداد مرحله و تاخیر زمانی بصورت مجزا برای حالت های رخداد خطای فاز به زمین و فاز به فاز بصورت مجزا

۴-۲-۲. توابع مورد نیاز در حفاظت سمت فشار متوسط ترانسفورماتور توزیع

- الف. توابع حفاظتی و نظارتی الزامی مطابق جدول (۲) می باشد.
- ب. توصیه می شود در رله های حفاظتی و IEDهای مورد استفاده در سمت اولیه ترانسفورماتور توزیع، توابع حفاظتی و نظارتی تکمیلی به شرح زیر وجود داشته باشد.
- واحد جریان زیاد با مشخصه زمان ثابت

- واحد حفاظت اضافه بار حرارتی (با قابلیت اندازه گیری جریان نول سمت فشار ضعیف به منظور تعیین جریان مولفه صفر عبوری از سیم پیچ ها)^۱
- واحد مونیتورینگ محفظه قطع
- واحد جریان زیاد مولفه منفی یا واحد تشخیص عدم تعادل جریان (46)
- کنترل دیمانند به منظور حذف بار در مصرف کنندگان اختصاصی

جدول (۱) لیست توابع حفاظتی الزامی برای حفاظت فیدر فشار متوسط

ردیف	تابع حفاظتی	کد ANSI	توضیحات
۱	جریان زیاد با مشخصه معکوس	51	مجهز به منحنی های مشخصه استاندارد IEC
۲	جریان زیاد با مشخصه آنی	50	
۳	جریان زیاد با مشخصه زمان ثابت	50	
۴	خطای زمین با مشخصه معکوس	51N	مجهز به منحنی های مشخصه استاندارد IEC
۵	خطای زمین با مشخصه آنی	50N	
۶	خطای زمین با مشخصه زمان ثابت	50N	
۷	قفل در برابر جریان هجومی	68Inrush	بعضا کاهش حساسیت توابع حفاظتی بجای قفل آنها
۸	قفل در برابر راه اندازی بار سرمایشی ^۲	68CLP	
۹	اضافه بار حرارتی	49	
۱۰	نظارت بر مدار تریپ ^۳	74	
۱۱	وصل مجدد	79	در رله بکاررفته در فیدر هوایی با هادی لخت
۱۲	تشخیص قطع یک فاز ^۴	46BC	در رله مورد استفاده در فیدر هوایی

^۱ در این حالت لازم است رله جریان زیاد مجهز به پنج ورودی جریان باشد^۲ Cold Load Pickup^۳ Trip Circuit Supervision (TCS)^۴ Broken Conductor (46BC)

جدول (۲) لیست توابع حفاظتی الزامی برای حفاظت ترانسفورماتور توزیع

ردیف	تابع حفاظتی	کد ANSI	توضیحات
۱	جریان زیاد با مشخصه معکوس	51	مجهز به منحنی های مشخصه استاندارد IEC
۲	جریان زیاد با مشخصه آنی	50	
۳	خطای زمین با مشخصه معکوس	51N	مجهز به منحنی های مشخصه استاندارد IEC
۴	خطای زمین با مشخصه آنی	50N	
۵	خطای زمین با مشخصه زمان ثابت	50N	
۶	قفل در برابر جریان هجومی	68Inrush	بعضا کاهش حساسیت توابع حفاظتی بجای قفل آنها
۷	قفل در برابر راه اندازی بار سرمایشی	68CLP	
۸	نظارت بر مدار تریپ	74	
۹	تشخیص قطع یک فاز	46BC	در رله مورد استفاده در فیدر هوایی

۳-۲-۴. توابع مورد نیاز در حفاظت سمت فشار ضعیف ترانسفورماتور توزیع

الف. در صورتی که در سمت فشار ضعیف ترانسفورماتور از رله حفاظتی دیجیتال استفاده شود، توابع حفاظتی و نظارتی الزامی مطابق جدول (۳) می باشد.

ب. توصیه می شود در رله های حفاظتی و IED های مورد استفاده در سمت اولیه ترانسفورماتور توزیع، توابع حفاظتی و نظارتی تکمیلی به شرح زیر وجود داشته باشد.

- واحد تشخیص خرابی کلید (CBF)
- واحد مونیتورینگ محفظه قطع
- واحد جریان زیاد مولفه منفی یا واحد تشخیص عدم تعادل جریان
- واحد تشخیص قطع سیم نول



جدول (۳) لیست توابع حفاظتی الزامی برای حفاظت سمت فشار ضعیف ترانسفورماتور توزیع

ردیف	تابع حفاظتی	کد ANSI	توضیحات
۱	جریان زیاد با مشخصه معکوس	51	مجهز به منحنی های مشخصه استاندارد IEC
۲	جریان زیاد با مشخصه آنی	50	
۳	خطای فاز به نول با مشخصه معکوس	51N	مجهز به منحنی های مشخصه استاندارد IEC
۴	خطای فاز به نول با مشخصه آنی	50N	
	خطای فاز به زمین		نیاز به زمین کردن نوترال ترانسفورماتور توزیع در محل پست و اندازه گیری مستقیم جریان عبوری از آن دارد.
۵	قفل در برابر راه اندازی بار سرمایشی	68CLP	بعضا با قابلیت کاهش حساسیت توابع حفاظتی بجای قفل آنها
۶	نظارت بر مدار تریپ	74	
۷	تشخیص قطع یک فاز	46BC	در رله مورد استفاده در فیدر هوایی
۸	اضافه بار حرارتی	49	

۴-۲-۴. واحدهای جانبی مهم

الف. لازم است واحدهای نرم افزاری و سخت افزاری جانبی به شرح زیر در رله های حفاظتی و IEDهای مورد استفاده در شبکه توزیع موجود باشد.

- تشخیص خودکار عیوب داخلی رله و ریست آن پس از تشخیص هنگ کردن رله^۱
- دو گروه تنظیمی^۲ مجزا
- امکان بکارگیری هماهنگی حفاظتی منطقی^۳
- ثبات وقایع^۴ (ذخیره زمان استارت و تریپ کلیه واحدهای حفاظتی به همراه جریان در لحظه تریپ، همچنین ثبت سایر سیگنال های دیجیتال مربوط به تغییر وضعیت)
- ثبات خطا^۵ (ذخیره شکل موج جریان های خطا و پیش خطا به همراه برخی سیگنال های دیجیتال)

¹ Watchdog function and Internal Diagnostics

² Setting Group

³ Logic Coordination

⁴ Event Recorder

⁵ Fault Recorder

- پروتکل Modbus RTU مبتنی بر پورت سریال یا اترنت
- ساعت داخلی^۱ قابل تنظیم بصورت محلی و از راه دور
- سطوح دسترسی شامل موارد زیر :
 - سطح اول مشاهده تنظیمات و مقادیر اندازه گیری شده بصورت محلی و همچنین ارسال مقادیر اندازه گیری شده به RTU (و به تبع آن به مرکز کنترل) است که نیاز به ورود رمز^۲ ندارد.
 - سطح دوم شامل تغییر پارامترهای تنظیمی رله بصورت محلی است که نیاز به ورود رمز اول دارد.
- ب. توصیه می شود واحدهای نرم افزاری و سخت افزاری جانبی به شرح زیر در رله های حفاظتی و IEDهای مورد استفاده در شبکه توزیع موجود باشد.
 - ثبات داده^۳
 - پروتکل DNP3 مبتنی بر TCP
 - پروتکل Modbus RTU مبتنی بر TCP (Modbus TCP)
 - سطوح دسترسی مبتنی بر رمز که علاوه بر موارد قبلی، شامل موارد به شرح زیر می باشد.
 - سطح دوم دسترسی علاوه بر موارد الزامی، شامل ارسال پارامترهای تنظیمی به مرکز کنترل نیز می باشد. برای این منظور نیاز به احراز هویت از طریق ارسال رمز از مرکز کنترل به RTU و به تبع آن از RTU به رله حفاظتی (یا IED) است.
 - سطح سوم شامل تغییر پارامترهای تنظیمی یا پیکره بندی رله از راه دور است که برای این منظور نیاز به نیاز به احراز هویت از طریق ارسال رمز از مرکز کنترل به RTU و به تبع آن از RTU به رله حفاظتی (یا IED) است. توصیه می شود که قابلیت تعریف جداگانه رمز سطوح دوم و سوم در نظر گرفته شود.

۵. پیش نیاز مطالعات هماهنگی حفاظتی

۵-۱. مطالعه جریان اتصال کوتاه

- الف. باید مطالعات اتصال کوتاه در تمام نقاط دارای تجهیزات حفاظتی در سطح فشار متوسط پست فوق توزیع و طول فیدر انجام شود و اطلاعات زیر استخراج گردد.
- جریان اتصال کوتاه تکفاز و سه فاز ماندگار

^۱ Real Time Clock (RTC)

^۲ Password

^۳ Data Logger

- جریان اتصال کوتاه تکفاز و سه فاز زیر گذرا
- جریان اتصال کوتاه تکفاز و سه فاز حرارتی
- جریان اتصال کوتاه تکفاز و سه فاز قطع کلید

ب. در صورتی که نفوذ مولدهای مقیاس کوچک دوار در شبکه توزیع زیاد باشد، لازم است برای محاسبه جریان اتصال کوتاه به موارد زیر توجه شود.

- استفاده از مولفه زیر گذرای جریان اتصال کوتاه به منظور تنظیم واحدهای حفاظتی آنی
- استفاده از مولفه حرارتی جریان اتصال کوتاه برای انجام مطالعات هماهنگی حفاظتی در فیوزها و رله های تاخیری که بر اساس جریان موثر واقعی عمل می کنند.
- استفاده از مولفه ماندگار سینوسی جریان اتصال کوتاه برای انجام مطالعات هماهنگی حفاظتی در حضور رله های تاخیری که بر اساس هارمونیک اول جریان عمل می کنند.

۵-۲. زمان مجاز پاک سازی خطای اتصال کوتاه در شبکه فشار متوسط

الف. رله گذاری، تعداد رله های متوالی و تنظیم توابع حفاظتی جریان زیاد و خطای زمین در شبکه فشار متوسط باید به نحوی باشد که پیش از رسیدن به حداکثر زمان مجاز عبور جریان اتصال کوتاه، خطا از شبکه پاک سازی شود.

ب. جدول (۴) معیارهای تعیین مدت زمان مجاز عبور جریان اتصال کوتاه از تجهیزات شبکه توزیع و پست های فوق توزیع را به ازای اتصال کوتاه سه فاز نشان می دهد. بر اساس این جدول با در نظر گرفتن بدترین حالت، بایستی زمان رفع خطای سه فاز توسط رله جریان زیاد فیدر ورودی با در نظر گرفتن یک بار وصل مجدد سریع، به ۰,۷۵ ثانیه محدود شود. بعلاوه با در نظر گرفتن شرط هماهنگی رله مذکور با زون سه رله دیستانس در حالت بدبینانه لازم است عملکرد رله فیدر ورودی فیدر فشار متوسط پست فوق توزیع تا زمان ۰,۷ ثانیه فرمان تریپ را صادر نماید. بنابراین در مجموع لازم است زمان عملکرد رله فیدر ورودی به ۰,۷ ثانیه محدود شود.

جدول (۴) زمان مجاز پاک سازی خطای اتصال کوتاه سه فاز در شبکه فشار متوسط

عامل ایجاد محدودیت در زمان رفع خطا	حداکثر زمان مجاز پاک سازی خطا در شبکه ۲۰ کیلوولت	حداکثر زمان مجاز پاک سازی خطا در شبکه ۳۳ کیلوولت	حداکثر زمان مجاز پاک سازی خطا در شبکه ۱۱ کیلوولت
آسیب حرارتی و مکانیکی به ترانسفورماتور قدرت (مطابق استاندارد IEEE)	۲ ثانیه	۲ ثانیه	۲ ثانیه
آسیب حرارتی و مکانیکی به CT فیدر خروجی	۲,۰۴ ثانیه	۲,۹۴ ثانیه	۳,۳۴ ثانیه
کابل فیدر خروجی (آلومینیوم با سطح مقطع 185 mm^2) در شبکه ۲۰ کیلوولت	۱,۵ ثانیه	-----	-----
کابل فیدر خروجی (دو رشته کابل آلومینیوم با سطح مقطع 185 mm^2) در شبکه ۳۳ کیلوولت	-----	۶,۶۹ ثانیه	-----
کابل فیدر خروجی (دو رشته کابل آلومینیوم با سطح مقطع 240 mm^2) در شبکه ۱۱ کیلوولت	---	---	۲,۹۵ ثانیه
محدودیت حرارتی در کلید قدرت فیدر خروجی	بیش از ۲,۰۴ ثانیه	بیش از ۵,۲۴ ثانیه	بیش از ۰,۹۲۵ ثانیه
محدودیت حرارتی در تجهیزات متصل به ثانویه CT فیدر خروجی	۲,۰۴ ثانیه	۵,۲۲ ثانیه	۰,۵۷۹ ثانیه
رعایت هماهنگی حفاظتی با زون ۵ رله دیستانس خط فوق توزیع (با فرض تنظیم زمانی زون ۵ برابر با ۱۵۰۰ میلی ثانیه)	۱,۲۵ ثانیه	۱,۲۵ ثانیه	۱,۲۵ ثانیه
رعایت هماهنگی حفاظتی با زون ۳ رله دیستانس خط فوق توزیع (با فرض تنظیم زمانی زون ۳ برابر با ۱۰۰۰ میلی ثانیه)	۰,۸۵ ثانیه	۰,۸۵ ثانیه	۰,۸۵ ثانیه
رعایت هماهنگی حفاظتی با زون ۳ رله دیستانس خط فوق توزیع (با فرض تنظیم زمانی زون ۳ برابر با ۸۰۰ میلی ثانیه)	۰,۷ ثانیه	۰,۷ ثانیه	۰,۷ ثانیه

ج. جدول (۵) معیارهای تعیین مدت زمان مجاز عبور جریان اتصال کوتاه از تجهیزات شبکه توزیع و پست‌های فوق توزیع را به ازای اتصال کوتاه فاز به زمین در سطوح ولتاژ مختلف شبکه فشار متوسط نشان می‌دهد. بر اساس این جدول با در نظر گرفتن حالت‌های بدبینانه‌ی منطقی، حداکثر زمان مجاز عملکرد رله جریان زیاد فیدر ورودی به باس بار فشار متوسط با سطوح ولتاژ مختلف به شرح زیر است:

- حداکثر زمان عملکرد رله جریان زیاد در سطوح ولتاژ ۱۱ و ۲۰ کیلوولت به ۱,۵ ثانیه محدود شود.
- حداکثر زمان عملکرد رله جریان زیاد در سطح ولتاژ ۳۳ کیلوولت به ۰,۸ ثانیه محدود شود.

جدول (۵) زمان مجاز پاک‌سازی خطای اتصال کوتاه فاز به زمین در شبکه فشار متوسط

عامل ایجاد محدودیت در زمان رفع خطا	حداکثر زمان مجاز پاک-سازی خطا در شبکه ۲۰ کیلوولت	حداکثر زمان مجاز پاکسازی خطا در شبکه ۳۳ کیلوولت	حداکثر زمان مجاز پاکسازی خطا در شبکه ۱۱ کیلوولت
آسیب حرارتی و مکانیکی به ترانسفورماتور قدرت (مطابق استاندارد IEEE)	۶ دقیقه	۲ ثانیه	۶ دقیقه
آسیب حرارتی و مکانیکی به ترانسفورماتور قدرت (مطابق دستورالعمل شرکت مدیریت شبکه برق برای سیستم انتقال)	---	۱,۲ ثانیه	---
آسیب حرارتی به CT فیدر خروجی	۱۳۸ ثانیه	۲,۹۴ ثانیه	۴۰,۳ ثانیه
آسیب حرارتی به هادی هوایی	۱۳ ثانیه	۰,۴۹ ثانیه در حالت بدبینانه	۳,۷۸ ثانیه
آسیب حرارتی به شیلد کابل	۲,۶ ثانیه	۲,۱ ثانیه	۱,۵ ثانیه
آسیب حرارتی در کلید قدرت فیدر خروجی	---	۲,۰۴ ثانیه	---
محدودیت های مرتبط با شبکه زمین پست های توزیع و فوق توزیع (از منظر حرارتی و ایمنی)	---	۱ ثانیه	-----
رعایت هماهنگی حفاظتی با زون ۳ / زون ۵ رله دیستانس خط فوق توزیع	-----	۰,۸ / ۱,۲۵ ثانیه	-----
محدودیتی عایقی تجهیزات فاز به زمین (برقگیر، PT و سایر تجهیزات)	بیش از ۱۰ ثانیه	-----	بیش از ۱۰ ثانیه

۵-۳. تعیین روش مقابله با حالت های گذرای موثر بر سیستم حفاظت

۱-۳-۵. رفتار دینامیکی بارهای موتوری

الف. جریان راه اندازی موتورهای الکتریکی که در شرایط زیر ایجاد می شود می تواند منجر به عملکرد نابجای رله های جریان زیاد در شبکه توزیع شود.

- پدیده راه اندازی همزمان بارهای موتوری گرم^۱ که پس از افت شدید ولتاژ در مدت زمان کوتاه (کمتر از یک دقیقه) ایجاد می شود.
- پدیده راه اندازی همزمان بارهای موتوری سرد که پس از افت شدید ولتاژ در مدت زمان طولانی (بیش از چند ده دقیقه) ایجاد می شود.
- بازیابی آهسته ولتاژ بعد از رفع خطا^۱ معمولاً در فیدرهای با درصد نفوذ بالای بار موتوری و به ویژه با طول زیاد اتفاق می افتد.

^۱ Hot Load Pickup (HLPV)

ب. به منظور پایدار کردن رله در مواجهه با HLPV و FIDVR می توان تنظیم جریان حد عملکرد و یا تاخیر زمانی را افزایش داد. ضمناً در مواجهه با پدیده CLPU می توان از روش مذکور استفاده کرد. البته در صورت داشتن قابلیت مورد نظر در رله حفاظتی، توصیه می شود که از واحد تشخیص پدیده CLPU برای کاهش حساسیت موقتی تابع جریان زیاد استفاده نمود.

۲-۳-۵. جریان هجومی ترانسفورماتور

الف. این پدیده در شرایط زیر ایجاد می شود.

- برق دار کردن ترانسفورماتور
- برگشت ولتاژ دو سر ترانسفورماتور به مقدار نرمال به هنگام رفع خطای شدید از سمت اولیه یا ثانویه
- برق دار کردن ترانسفورماتورهای موازی (مثلاً هنگام اتصال یک انشعاب به شبکه که باعث برقرار شدن ترانسفورماتورهای متصل به آن انشعاب شده و جریان هجومی در سایر ترانسفورماتورهای برقرار موجود در شبکه ایجاد می نماید)

ب. برای مقابله با این پدیده توصیه می شود که از واحد تشخیص جریان هجومی استفاده شده و لااقل تابع حفاظت جریان زیاد تاخیری قفل شود یا حساسیت آن کاهش یابد. در صورت عدم وجود واحد تشخیص جریان هجومی، لازم است TMS تابع مذکور افزایش یابد. بعلاوه توصیه می شود واحد آنی به نحوی تنظیم شود که در برابر جریان هجومی پایداری خود را حفظ کند.

۳-۳-۵. اشباع ترانسفورماتور جریان

الف. اشباع ترانسفورماتور جریان در اثر دامنه بالای جریان خطا، مولفه dc میراشونده جریان خطا و یا در مواجهه با جریان هجومی ترانسفورماتور ایجاد می شود.

ب. اشباع ترانسفورماتور جریان ممکن است پیامدهای زیر را به دنبال داشته باشد:

- افزایش تاخیر زمانی در عملکرد رله جریان زیاد
- استارت یا تریپ نابجای رله های مبتنی بر جریان های مولفه متقارن (رله های خطای زمین و عدم تعادل جریان)

ج. برای جلوگیری از عملکرد نابجای رله خطای زمین یا عدم تعادل جریان در هنگام رخداد پدیده اشباع CT توصیه می شود یکی از روشهای زیر بکار رود :

¹ Fault-induced delayed voltage recovery (FIDVR)

- استفاده از ترانسفورماتور جریان با مشخصات فنی منطبق بر نیازمندی های سازنده رله (البته بعضا افزایش ولتاژ ثانوی اشباع CT که باعث بزرگ شدن اندازه آن می شود، چالش های عملی مختلفی را به دنبال دارد)
- استفاده از مشخصه عملکرد تطبیقی در توابع حفاظتی مذکور (افزایش جریان حد عملکرد در صورت بزرگ بودن جریان خطای عبوری از حداقل یکی از فازها)
- افزایش تنظیم زمانی یا جریان حد عملکرد در توابع حفاظتی مذکور

۴-۳-۵. فرورزناس

- الف. پدیده فرورزناس در صورت سری شدن خازن با ظرفیت نسبتا بزرگ (حدودا بزرگتر از مقدار ۴ نانوفاراد) با اندوکتانس مغناطیس کنندگی تجهیزاتی نظیر ترانسفورماتور توزیع یا ترانسفورماتور ولتاژ ایجاد می شود. این شرایط در حالت عادی وجود ندارد و معمولا در صورت قطع یک یا دو فاز در مسیر فیدر فشار متوسط ایجاد می شود که باعث رخداد پدیده فرورزناس در ترانسفورماتورهای کم بار پایین دست آن می شود.
- ب. پدیده فرورزناس همیشه قابل پیشگیری نیست ولی با انجام اقداماتی می توان با آن مقابله کرد :
- توصیه می شود که تا حد امکان از بکارگیری فیوز با مکانیزم قطع تکفاز برای حفاظت فیدر فشار متوسط استفاده نشود (به ویژه اگر در فاصله فیوز تا حداقل یکی از ترانسفورماتورهای پایین دست، کابل با طول بیش از ۱۵ متر استفاده شده است).
 - فیوزها و جداکننده های تکفاز تا حد امکان در مجاورت ترانسفورماتور توزیع نصب شده و بین آنها فاصله زیادی وجود نداشته باشد.
 - در صورت بکارگیری جداکننده های تکفاز در طول فیدر فشار متوسط، زمان قطع یا وصل پل های مختلف آن تا حد امکان کوتاه باشد.
 - این پدیده به کمک برخی توابع حفاظتی شامل تشخیص قطع یک فاز و تشخیص خطای زمین حساس (که جریان حد عملکرد پایینی دارد و بر اساس مقدار موثر جریان مولفه صفر کار می کند) قابل تشخیص است. البته برای تمایز از سایر خطاهای شبکه، بکارگیری رله حفاظتی مجهز به تابع مخصوص تشخیص فرورزناس توصیه می شود.

۵-۳-۵. رزونانس

- الف. یکی از حالت های متداول رخداد پدیده رزونانس، تشدید بین اندوکتانس مولفه صفر ترانسفورماتور زمین و خازن بین فاز و زمین فیدرهای متصل به سوئیچگیر فشار متوسط است که پس از رخداد اتصال

کوتاه فاز به زمین در یکی از فیدرهای فشار متوسط خروجی و باز شدن کلید قدرت مربوطه بوجود می آید. در این شرایط، جریان رزونانسی از ترانسفورماتور زمین می گذرد و علاوه بر ایجاد ناهماهنگی حفاظتی بین رله های خطای زمین در سوئیچگیر فشار متوسط پست فوق توزیع، ممکن است به ترانسفورماتور زمین آسیب بزند.

ب. در صورت مشکل ساز بودن این پدیده توصیه می شود از مقاومت در نوترال ترانسفورماتور زمین^۱ استفاده کرد. معمولاً بکارگیری مقاومت ۱۵ اهمی برای این منظور کفایت می کند. البته مقدار دقیق را می توان بر اساس مطالعات حالت گذرا بدست آورد.

۵-۴. مشخصات فنی ترانسفورماتور جریان

الف. در کاربرد حفاظتی می توان از CT با ساختار پنجره ای (حلقوی^۲) یا رزینی (متداول^۳) با هسته حفاظتی استفاده کرد.

ب. لازم است مشخصات CT با هسته حفاظتی به شرح زیر باشد:

- جریان نامی ثانویه برابر با ۱ آمپر
- کلاس دقت نوع 5P
- تحمل جریان اتصال کوتاه به میزان ۸۰ برابر جریان نامی اولیه در مدت ۱ ثانیه (مگر اینکه این میزان بیش از حداکثر جریان خطای عبوری از CT باشد)

۱-۴-۵. مشخصات فنی CT حفاظت ترانسفورماتور توزیع

لازم است مشخصات فنی CT مورد استفاده برای حفاظت ترانسفورماتورهای توزیع که در سمت اولیه آن نصب می شود، منطبق بر جدول (۶) باشد.

۲-۴-۵. تعیین مشخصات فنی CT حفاظت فیدر فشار متوسط

- الف. جهت تعیین جریان نامی اولیه CT حفاظتی فیدر دو شرط زیر در نظر گرفته شود.
- برای اینکه بتوان از ظرفیت حرارتی خط استفاده نمود، لازم است جریان نامی CT بیش از جریان حد حرارتی آن فیدر (I_{Th}) باشد که این جریان با توجه به وضعیت جوی، ارتفاع از سطح دریا و نوع هادی بکاررفته در فیدر، در جدول (۷) مشاهده می شود.
 - باید جریان نامی CT، کمتر از ۲ برابر جریان بیشینه بار آن فیدر باشد.

¹ Neutral Ground Resistance (NGR)

² Window Type (Ring Type)

³ Conventional

تبصره : توصیه می شود که جریان نامی اولیه CT با هسته حفاظتی که در طول فیدر بکار رفته است، برابر با یکی از سه مقدار ۱۰۰، ۲۰۰ یا ۳۰۰ آمپر انتخاب شود.

ب. لازم است مشخصات CT با هسته حفاظتی به شرح زیر باشد.

- جریان نامی ثانویه برابر با ۱ آمپر
- کلاس دقت نوع 5P
- تحمل جریان اتصال کوتاه به میزان ۸۰ برابر جریان نامی اولیه در مدت ۱ ثانیه (مگر اینکه این میزان بیش از حداکثر جریان خطای عبوری از CT باشد)
- ضریب حد دقت برابر با $ALF=10$
- بردن نامی برابر با ۲,۵ ولت آمپر

جدول (۶) مشخصات فنی پیشنهادی برای CT حفاظت ترانسفورماتور توزیع

ظرفیت نامی (kVA)	در شبکه ۲۰ کیلوولت	در شبکه ۳۳ کیلوولت	در شبکه ۱۱ کیلوولت
۲۰۰	25 : 1, 5P10, 2 VA	15 : 1, 5P10, 2 VA	50 : 1, 5P10, 2 VA
۲۵۰	25 : 1, 5P10, 2 VA	15 : 1, 5P10, 2 VA	50 : 1, 5P10, 2 VA
۳۱۵	25 : 1, 5P10, 2 VA	15 : 1, 5P10, 2 VA	50 : 1, 5P10, 2 VA
۴۰۰	50 : 1, 5P10, 2 VA	25 : 1, 5P10, 2 VA	50 : 1, 5P10, 2 VA
۵۰۰	50 : 1, 5P10, 2 VA	25 : 1, 5P10, 2 VA	100 : 1, 5P10, 2.5 VA
۶۳۰	50 : 1, 5P10, 2 VA	25 : 1, 5P10, 2 VA	100 : 1, 5P10, 2.5 VA
۸۰۰	100 : 1, 5P10, 2.5 VA	50 : 1, 5P10, 2 VA	100 : 1, 5P10, 2.5 VA
۱۰۰۰	100 : 1, 5P10, 2.5 VA	50 : 1, 5P10, 2 VA	100 : 1, 5P10, 2.5 VA
۱۲۵۰	100 : 1, 5P10, 2.5 VA	50 : 1, 5P10, 2 VA	200 : 1, 5P10, 2.5 VA
۱۶۰۰	100 : 1, 5P10, 2.5 VA	100 : 1, 5P10, 2.5 VA	200 : 1, 5P10, 2.5 VA
۲۰۰۰	200 : 1, 5P10, 2.5 VA	100 : 1, 5P10, 2.5 VA	300 : 1, 5P10, 2.5 VA
۲۵۰۰	200 : 1, 5P10, 2.5 VA	100 : 1, 5P10, 2.5 VA	300 : 1, 5P10, 2.5 VA

جدول (۷) جریان مجاز حرارتی و ثابت زمانی حرارتی خطوط هوایی متداول شبکه توزیع

نوع هادی	دمای محیط	ارتفاع	جریان مجاز حرارتی (آمپر)	ثابت زمانی حرارتی (دقیقه)
----------	-----------	--------	--------------------------	---------------------------

16.20	170.00	0.00	40.00	Fox
16.48	164.00	1000.00	40.00	
16.73	158.00	2000.00	40.00	
16.95	153.00	3000.00	40.00	
15.73	148.00	0.00	50.00	
16.00	143.00	1000.00	50.00	
16.23	138.00	2000.00	50.00	
16.47	132.00	3000.00	50.00	
14.93	244.00	0.00	40.00	Mink
15.63	236.00	1000.00	40.00	
16.35	228.00	2000.00	40.00	
17.05	220.00	3000.00	40.00	
14.57	213.00	0.00	50.00	
15.22	205.00	1000.00	50.00	
15.90	197.00	2000.00	50.00	
16.57	190.00	3000.00	50.00	
12.07	339.00	0.00	40.00	Dog
12.68	328.00	1000.00	40.00	
13.35	316.00	2000.00	40.00	
14.03	305.00	3000.00	40.00	
11.85	295.00	0.00	50.00	
12.42	284.00	1000.00	50.00	
13.05	273.00	2000.00	50.00	
13.70	263.00	3000.00	50.00	
12.22	344.00	0.00	40.00	Hyena
12.80	332.00	1000.00	40.00	
13.42	321.00	2000.00	40.00	
14.05	310.00	3000.00	40.00	
12.22	344.00	0.00	50.00	
12.80	332.00	1000.00	50.00	
13.42	321.00	2000.00	50.00	
14.05	310.00	3000.00	50.00	
12.18	403.00	0.00	40.00	Lynx
12.70	389.00	1000.00	40.00	
13.20	375.00	2000.00	40.00	
13.65	361.00	3000.00	40.00	
11.70	349.00	0.00	50.00	
12.17	336.00	1000.00	50.00	
12.62	322.00	2000.00	50.00	
13.03	310.00	3000.00	50.00	

ج. در صورت نصب رله بر روی تابلوی مجزا با فاصله نسبتاً زیاد رله و CT، لازم است (زیاد است)، برای کاهش بردن ناشی از کابل واسط، که در خطای فاز به زمین در شبکه خود را نشان می‌دهد، توصیه می‌شود که در محل CT ترمینال‌های نول سه فاز سمت ثانویه CT به یکدیگر متصل شوند (که به منزله سیم نول

است). به عبارت دیگر بجای اینکه شش رشته سیم بین CT و رله کشیده شود، کافی است از یک کابل چهار رشته استفاده شود.

تبصره ۲: لازم است سیم نول کابل خروجی CT فقط در یک نقطه و ترجیحا در نزدیکی رله حفاظتی به زمین وصل شود.

۵-۵. مشخصات فنی تجهیز اندازه گیری ولتاژ

۵-۵-۱. ترانسفورماتور ولتاژ القایی

الف. با هدف حفاظتی (نظیر تعیین محل خطا مبتنی بر اندازه گیری امپدانس یا توابع حفاظتی در رله محل مشترک اتصال)، کنترلی (نظیر بررسی شرایط سنکرونایزینگ در محل کلیدهای مانور یا در محل مولد مقیاس کوچک) و اندازه گیری (نظیر اندازه گیری ولتاژ، توان و انرژی) می توان از ترانسفورماتور ولتاژ القایی (PT) استفاده نمود.

ب. توصیه می شود که برای حفاظت مدار ثانویه PT از MCB استفاده شود. این نیازمندی در صورت طولانی شدن مدار ثانویه الزامی است. جریان نامی MCB در این کاربرد می تواند ۱۶ آمپر یا کمتر انتخاب شود.

ج. لازم است سطح مقطع هادی مدار ثانویه برابر یا بیشتر از ۲٫۵ میلی متر مربع باشد.

د. اگر با کابل واسط (بین PT و کنتور) هادی های حامل جریان موازی شده باشد، استفاده از کابل به هم تابیده (Twisted) الزامی است. ضمنا اگر این کابل از مجاورت شینه با ولتاژ فشار متوسط عبور نماید، استفاده از کابل شیلدار که شیلد آن در نزدیکی کنتور به زمین وصل شده باشد، الزامی است.

ه. مشخصات فنی مورد نیاز PT با هدف اندازه گیری انرژی عبارتند از :

- به منظور اندازه گیری انرژی در محل مشترک اتصال لازم است از PT با کلاس دقت 0.2 استفاده شود. ضمنا توصیه می شود که از PT های فاز به زمین برای این منظور استفاده شده و با قطع کلید PCC، PT نیز بی برق شود.

- به منظور اندازه گیری انرژی مصرفی مشترکین دیماندی استفاده از PT با کلاس دقت 0.5 کفایت می کند. ضمنا لازم است از PT های فاز به فاز برای این منظور استفاده شود.

و. لازم است PT های مورد استفاده برای تغذیه مدار یا استفاده در مبدل AC به DC، از نوع فاز به فاز با کلاس دقت ۳ درصد است. ضمنا بردن نامی متناسب با توان مصرفی انتخاب می شود.

ز. در PT با بردن نامی بیش از ۱۰ ولت آمپر، لازم است بردن واقعی در محدوده ۲۵ تا ۱۰۰ درصد بردن نامی باشد.

ح. توصیه می شود که PT مجهز به فیوز با جریان نامی ۴ آمپر در سمت اولیه باشد تا در صورت رخداد خطای داخلی در PT از ترکیدن آن جلوگیری شود.

ط. استفاده از ترانسفورماتورهای ولتاژ و جریان ترکیبی (CIT^۱) بلامانع بوده و لازم است موارد فوق الذکر در این مورد نیز رعایت شود.

۲-۵-۵. مقسم ولتاژ

الف. می توان از روش تقسیم ولتاژ مقاومتی (مقاومت های R_1 و R_2) یا خازنی (خازن های C_1 و C_2) برای اندازه گیری ولتاژ استفاده کرد. برای این منظور لازم است مقاومت R_1 یا خازن C_1 در مقره اندازه گیری با فاصله خزشی مناسب تعبیه شود. ضمناً خازن یا مقاومت فشار ضعیف (با ظرفیت C_2 یا مقاومت R_2) می تواند در داخل مقره مذکور یا خارج از آن استفاده شود.

ب. اغلب مقره های اندازه گیری ولتاژ فقط برای تشخیص حضور ولتاژ استفاده می شوند و دارای دقت کافی برای اندازه گیری ولتاژ با هدف استفاده در تجهیزات حفاظتی (نظیر مکان یاب خطا)، کنترلی (نظیر سنکرونایزینگ) یا اندازه گیری (نظیر کنتور) نیستند. به منظور استفاده در کاربردهای حفاظتی و کنترلی لازم است شرایط زیر برقرار باشد:

- ظرفیت خازن C_1 یا مقاومت R_1 باید به اندازه ای بزرگ باشد که خازن های پراکندگی (نظیر خازن و مقاومت شنت بین هادیهای فشار قوی و زمین) تاثیر نامطلوبی بر دقت اندازه گیری ولتاژ نداشته باشد. برای این منظور توصیه می شود که C_1 کمتر از ۱۰۰ پیکوفاراد و R_1 بیشتر از ۳۲ مگا اهم نباشد.

- ظرفیت خازن C_2 باید به اندازه ای بزرگ باشد که خازن های پراکندگی (نظیر خازن های مربوط به هادی ارتباطی بین C_1 و C_2 یا هادی های ارتباطی بین C_2 و تجهیزات اندازه گیری یا حفاظتی) تاثیر محسوسی بر دقت اندازه گیری دامنه و زاویه ولتاژ نداشته باشد. این نیازمندی در مورد مقاومت R_2 نیز برقرار است. برای این منظور توصیه می شود که امپدانس معادل آن به میزان ۱۰۰۰ برابر کوچکتر از امپدانس داخلی مدار اندازه گیری ولتاژ در تجهیز حفاظتی یا اندازه گیری باشد.

ج. توصیه می شود که در صورت نیاز به اندازه گیری دقیق ولتاژ (نظیر اندازه گیری انرژی در محل مولدهای مقیاس کوچک یا بارهای دیماندی) از مقسم ولتاژ استفاده نشود؛ مگر اینکه از بی تاثیر بودن امپدانس پراکندگی بر اندازه گیری دقیق ولتاژ اطمینان حاصل شود.

¹ Combined Instrument Transformer

د. استفاده از خازن C_1 بصورت سری با مقاومت R_2 قابل قبول نمی باشد. به عبارت دیگر الزامی است که مقسم ولتاژ بصورت کامل بصورت مقاومتی یا خارجی باشد.

ه. توصیه می شود که مجموعه مقسم ولتاژ و تجهیز اندازه گیری ولتاژ (میترو یا رله) بصورت یکپارچه و به همان شکلی که واقعا بهره برداری می شوند، نصب شده و سپس کالیبره گردد تا اثر امپدانس های پراکندگی در کالیبراسیون ولتاژ لحاظ شود. این کار در صورت نیاز به اندازه گیری دقیق انرژی الزامی است. بعلاوه لازم است که در تجهیز اندازه گیری امکان کالیبراسیون ولتاژ بصورت نرم افزاری در هر فاز بصورت مجزا وجود داشته باشد.

و. توصیه می شود آزمون تحمل ولتاژ صاعقه بر روی مجموعه تجهیز فشار قوی مجهز به مقره اندازه گیری و همچنین تجهیز اندازه گیری ولتاژ (نظیر رله یا میترو) انجام شود. انجام این آزمون در مورد سکسیونر یا رکلوزر که از مقره اندازه گیری ولتاژ استفاده می نمایند، الزامی است.

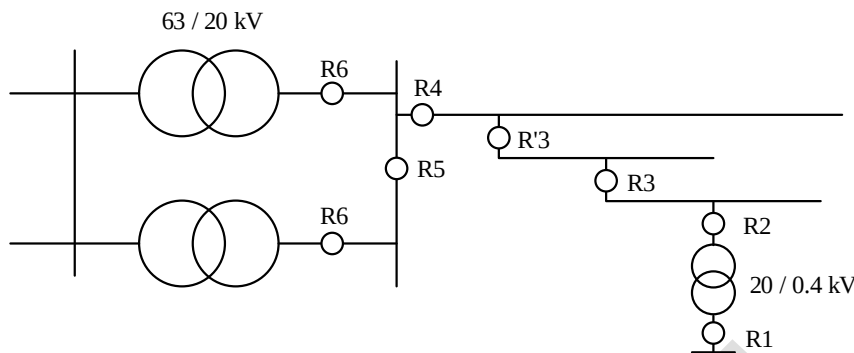
۶. انجام مطالعات هماهنگی حفاظتی

رله های متوالی برای حفاظت شبکه فشار متوسط در شکل (۱۰) مشاهده می شود که در ادامه معرفی می شوند.

- R_1 و R_2 به ترتیب تجهیز حفاظتی بکاررفته در سمت فشار ضعیف و فشار قوی ترانسفورماتور توزیع می باشند. R_1 می تواند مازول حفاظتی موجود در کلید فشار ضعیف (MCCB یا ACB) یا یک رله حفاظتی دیجیتال باشد. R_2 می تواند یک رله جریان زیاد یا یک فیوز فشار متوسط باشد.
- R_3 نمایش دهنده تجهیزات حفاظتی در طول انشعاب و یا فیدر است. ضمناً ممکن است در طول فیدر از رله های متوالی دیگری نیز استفاده شود که آنها با R_3 معرفی می شوند.
- R_4 بیانگر رله اضافه جریان فیدر خروجی پست فوق توزیع است. بعلاوه R_5 و R_6 نیز رله های حفاظتی کوپلر^۱ و فیدر ورودی^۲ در سوئیچگیر فشار متوسط پست فوق توزیع هستند.

¹ Coupler

² Incoming



شکل (۱۰) نمایش موقعیت رله های جریانی در شبکه توزیع

۶-۱. واحدهای حفاظتی سمت فشار ضعیف ترانسفورماتور

- الف. توصیه می شود جهت حفاظت سمت فشار ضعیف ترانسفورماتور توزیع با ظرفیت نامی بزرگتر یا مساوی ۸۰۰ کیلوولت آمپر از ACB استفاده شود و در ظرفیت نامی کمتر از آن، MCCB بکار رود.
- ب. توصیه می شود که جریان نامی کلید اتوماتیک فشار ضعیف متناسب با ظرفیت نامی ترانسفورماتور مطابق جدول (۸) انتخاب گردد.
- ج. توصیه می شود از روش شناسی مندرج در جدول (۹) جهت تعیین مقدار مناسب پارامترهای تنظیمی توابع حفاظتی موجود در کلیدهای اتوماتیک استفاده شود.
- د. در صورتی که از رله حفاظتی دیجیتال برای تشخیص خطا در سمت فشار ضعیف ترانسفورماتور استفاده شده باشد، تنظیم نمونه برای واحدهای حفاظتی مربوطه مطابق جداول (۱۰) و (۱۱) می باشد.

جدول (۸) جریان نامی کلید فشار ضعیف ترانسفورماتور

ظرفیت نامی ترانسفورماتور (kVA)	جریان نامی ترانسفورماتور (A)	جریان نامی کلید اتوماتیک (A)
۲۵	۳۶,۱	۵۰
۵۰	۷۲,۳	۱۰۰
۱۰۰	۱۴۴,۵	۱۶۰
۱۶۰	۲۳۱,۲	۲۵۰
۲۰۰	۲۸۹,۰	۴۰۰
۲۵۰	۳۶۱,۳	۴۰۰
۳۱۵	۴۵۵,۲	۶۳۰
۴۰۰	۵۷۸,۰	۶۳۰
۵۰۰	۷۲۲,۵	۸۰۰
۶۳۰	۹۱۰,۴	۱۰۰۰
۸۰۰	۱۱۵۶,۱	۱۲۰۰
۱۰۰۰	۱۴۴۵,۱	۱۶۰۰
۱۶۰۰	۲۳۱۲,۱	۲۵۰۰
۲۰۰۰	۲۸۹۰,۲	۳۲۰۰
۲۵۰۰	۳۶۱۲,۷	۴۰۰۰

جدول (۹) روش شناسی تنظیم واحدهای حفاظتی سمت فشار ضعیف ترانسفورماتور توزیع (R1)



- (۱) روش شناسی تنظیم واحد تشخیص اضافه بار
- جریان حد عملکرد واحد اضافه بار، برابر جریان نامی ترانسفورماتور تنظیم شود.
 - زمان عملکرد واحد اضافه بار تاخیری به ازای ۲ برابر جریان نامی ترانسفورماتور، کمتر از ۳ ثانیه باشد.
- (۲) روش شناسی تنظیم واحد تشخیص اتصال کوتاه تاخیری
- اگر مشخصه عملکرد از نوع زمان-جریان معکوس باشد، جریان حد عملکرد مساوی با ۲ برابر جریان نامی ترانسفورماتور تنظیم شود. زمان عملکرد هم به نحوی انتخاب شود که به ازای عبور جریان خطا برابر با جریان عملکرد واحد آنی، زمان عملکرد این مازول حفاظتی برابر با ۱۲۰ میلی ثانیه باشد.
 - اگر مشخصه عملکرد از نوع زمان ثابت باشد، جریان حد عملکرد مساوی با ۳ برابر جریان نامی ترانسفورماتور و زمان عملکرد آن برابر با یک ثانیه تنظیم شود.
- (۳) روش شناسی تنظیم واحد تشخیص اتصال کوتاه آنی
- جریان حد عملکرد به نحوی انتخاب شود که به ازای رخداد خطای اتصال کوتاه بیشینه در باس بار فشار ضعیف عمل نماید و در خطای دوردست فیدرهای خروجی فشار ضعیف تریپ نابجا ندهد. با توجه به اینکه بیشینه جریان قابل تنظیم این واحد در اغلب کلیدهای فشار ضعیف برابر با ۱۰ پریونیت است، بنابراین تنظیم این واحد برابر با بیشینه مقداری است که در رله قابل تنظیم است، به شرطی که از ۰,۹ برابر جریان خطای سه فاز در ترمینال ترانسفورماتور بیشتر نشود.
- (۴) روش شناسی تنظیم واحد تشخیص خطای فاز به نول
- جریان حد عملکرد برابر ۰,۴ جریان نامی ترانسفورماتور انتخاب شود.
 - مشخصه عملکرد رله به صورت زمان ثابت و با تاخیر ۱۰۰ میلی ثانیه تنظیم شود.

جدول (۱۰) تنظیم نمونه توابع اصلی رله دیجیتال سمت فشار ضعیف ترانسفورماتور توزیع (R1) در ولتاژهای ۲۰ و ۳۳

کیلوولت

واحد 51N			واحد 50N		واحد 51			نسبت تبدیل CT	ظرفیت نامی (KVA)
TMS	IPickup (pu)	Curve Type	IPickup (pu)		TMS	IPickup (pu)	Curve Type		
0.17	0.28	VI	15.00		0.21	1.20	VI	800/1	500
0.17	0.18	VI	15.00		0.21	1.20	VI	1000 / 1	630
0.17	0.19	VI	15.00		0.21	1.20	VI	1200 / 1	800
0.17	0.19	VI	15.00		0.21	1.20	VI	1500/1	1000
0.17	0.18	VI	15.00		0.21	1.20	VI	2000/1	1250
0.17	0.18	VI	15.00		0.21	1.20	VI	2500/1	1600
0.17	0.19	VI	15.00		0.21	1.20	VI	3000/1	2000
0.17	0.18	VI	15.00		0.21	1.20	VI	4000/1	2500

* مبنای کمیات پریونیت شده، جریان اولیه CT است.

جدول (۱۱) تنظیم نمونه توابع اصلی رله دیجیتال سمت فشار ضعیف ترانسفورماتور توزیع (R1) در ولتاژ ۱۱ کیلوولت

ظرفیت نامی	نسبت تبدیل	واحد 50	واحد 51	واحد 50N	واحد 51N
------------	------------	---------	---------	----------	----------

TMS	IPickup (pu)	Curve Type	IPickup (pu)	TMS	IPickup (pu)	Curve Type	IPickup (pu)	CT	(KVA)
0.17	0.28	VI	8.94	0.21	1.20	VI	8.94	800/1	500
0.17	0.18	VI	9.01	0.21	1.20	VI	9.01	1000 / 1	630
0.17	0.19	VI	9.54	0.21	1.20	VI	9.54	1200 / 1	800
0.17	0.19	VI	9.54	0.21	1.20	VI	9.54	1500/1	1000
0.17	0.18	VI	8.94	0.21	1.20	VI	8.94	2000/1	1250
0.17	0.18	VI	9.16	0.21	1.20	VI	9.16	2500/1	1600
0.17	0.19	VI	9.54	0.21	1.20	VI	9.54	3000/1	2000
0.17	0.18	VI	8.94	0.21	1.20	VI	8.94	4000/1	2500

۲-۶. تنظیم توابع حفاظتی رله دیجیتال سمت فشار قوی ترانسفورماتور (رله R2)

در صورتی که از CT با مشخصات تعیین شده در این دستورالعمل برای حفاظت ترانسفورماتور توزیع استفاده شده باشد و تنظیم مازول حفاظتی سمت فشار ضعیف ترانسفورماتور مطابق بند ۶-۱ تعیین شود، تنظیم نمونه برای واحدهای حفاظتی رله سمت فشار قوی ترانسفورماتور توزیع مطابق جداول (۱۲) تا (۱۴) است. برای این منظور از فرضیات زیر استفاده شده است:

- بیشینه دمای محیط و ارتفاع محل نصب ترانسفورماتور برابر با مقدار طراحی است.
- مشخصه عملکرد توابع با مشخصه معکوس بصورت Very Inverse (VI) در نظر گرفته شده است.
- رله حفاظتی مجهز به چهار ورودی جریان است و در نتیجه جریان مولفه صفر بر اساس جمع مداری حاصل از جریان سه فاز محاسبه می شود.

جدول (۱۲) تنظیم نمونه برای توابع حفاظتی رله سمت فشار قوی ترانسفورماتور ۱۱ کیلوولت

واحد 51N			واحد 50N		واحد 51		واحد 50	نسبت تبدیل CT	ظرفیت نامی (KVA)
TMS	IPickup (pu)	Curve Type	IPickup (pu)	TMS	IPickup (pu)	Curve Type	IPickup (pu)		
0.05	0.05	VI	0.53	0.25	0.38	VI	5.25	100/1	500
0.05	0.05	VI	0.66	0.25	0.47	VI	6.62	100/1	630
0.05	0.05	VI	0.84	0.25	0.60	VI	8.41	100/1	800
0.05	0.06	VI	1.05	0.25	0.75	VI	10.51	100/1	1000
0.05	0.05	VI	0.66	0.25	0.47	VI	6.57	200/1	1250
0.05	0.05	VI	0.84	0.25	0.60	VI	8.41	200/1	1600
0.05	0.05	VI	0.70	0.25	0.50	VI	7.01	300/1	2000
0.05	0.05	VI	0.88	0.25	0.63	VI	8.76	300/1	2500

جدول (۱۳) تنظیم نمونه برای توابع حفاظتی رله سمت فشار قوی ترانسفورماتور ۲۰ کیلوولت

واحد 51N			واحد 50N		واحد 51		واحد 50	نسبت تبدیل CT	ظرفیت نامی
----------	--	--	----------	--	---------	--	---------	---------------	------------

TMS	IPickup (pu)	Curve Type	IPickup (pu)	TMS	IPickup (pu)	Curve Type	IPickup (pu)		(KVA)
0.05	0.05	VI	0.58	0.25	0.41	VI	5.78	50 / 1	500
0.05	0.05	VI	0.73	0.25	0.52	VI	7.28	50 / 1	630
0.05	0.05	VI	0.46	0.25	0.33	VI	4.62	100 / 1	800
0.05	0.05	VI	0.58	0.25	0.41	VI	5.78	100 / 1	1000
0.05	0.05	VI	0.72	0.25	0.52	VI	7.23	100 / 1	1250
0.05	0.05	VI	0.92	0.25	0.66	VI	9.25	100 / 1	1600
0.05	0.05	VI	0.58	0.25	0.41	VI	5.78	200/1	2000
0.05	0.05	VI	0.72	0.25	0.52	VI	7.23	200/1	2500

جدول (۱۴) تنظیم نمونه برای توابع حفاظتی رله سمت فشار قوی ترانسفورماتور ۳۳ کیلوولت

واحد 51N			واحد 50N	واحد 51			واحد 50	نسبت تبدیل CT	ظرفیت نامی (KVA)
TMS	IPickup (pu)	Curve Type	IPickup (pu)	TMS	IPickup (pu)	Curve Type	IPickup (pu)		
0.05	0.05	VI	0.70	0.25	0.50	VI	7.01	25/1	500
0.05	0.05	VI	0.88	0.25	0.63	VI	8.83	25/1	630
0.05	0.05	VI	0.56	0.25	0.40	VI	5.61	50/1	800
0.05	0.05	VI	0.70	0.25	0.50	VI	7.01	50/1	1000
0.05	0.05	VI	0.88	0.25	0.63	VI	8.76	50/1	1250
0.05	0.05	VI	0.56	0.25	0.40	VI	5.61	100/1	1600
0.05	0.05	VI	0.70	0.25	0.50	VI	7.01	100/1	2000
0.05	0.05	VI	0.88	0.25	0.63	VI	8.76	100/1	2500

۳-۶. تعیین مشخصات فنی فیوز برای حفاظت ترانسفورماتور توزیع با ظرفیت پایین

الف. جریان نامی فیوزلینک مناسب برای حفاظت ترانسفورماتور مطابق جدول (۱۵) است.

ب. در صورتی که بین محل نصب فیوز و ترانسفورماتور از کابل فشار متوسط با طول بیش از ۱۵ متر استفاده شود، لازم است از فیوز با مکانیزم قطع سه فاز استفاده شود تا پس از سوختن فیوز یک فاز، مسیر جریان در هر سه فاز قطع گردد.

۶-۶. تنظیم توابع حفاظتی رله دیجیتال بکاررفته در انشعاب فیدر فشار متوسط (R3)

با عنایت به اینکه تنظیم توابع این رله حفاظتی یا انتخاب جریان نامی فیوز آن به نوع زمین کردن سیم پیچ ترانسفورماتور بالادست، فاصله از رله های پایین دست، جریان اتصال کوتاه شبکه، مشخصات فنی ترانسفورماتور جریان مورد استفاده و غیره وابسته است، بنابراین ارایه تنظیم نمونه برای تجهیز حفاظتی بکاررفته در R3 چندان عملیاتی و قابل استفاده نبوده و در نتیجه در پیوست (الف) این دستورالعمل به تشریح روش محاسبه پارامترهای تنظیمی مربوط به توابع حفاظتی آن و در پیوست (ب) به تشریح نحوه تعیین جریان نامی فیوز بکاررفته در محل R3 پرداخته شده است. لازم به ذکر است که تنظیم توابع حفاظتی

رله دیجیتال یا انتخاب مشخصات فنی فیوز بکاررفته به عنوان تجهیز R'3 نیز با روش مشابه R3 انجام می شود.

جدول (۱۵) جریان نامی فیوز برای حفاظت ترانسفورماتورهای توزیع

ولتاژ ۳۳ کیلوولت		ولتاژ ۲۰ کیلوولت		ولتاژ ۱۱ کیلوولت		ظرفیت نامی (KVA)
کنسوز	تندسوز	کنسوز	تندسوز	کنسوز	تندسوز	
2	2	3	3	3	3	25
3	3	6	6	6	8	50
6	6	6	8	10	12	100
6	8	8	12	15	20	160
8	10	10	15	20	25	200
8	10	12	15	25	30	250
10	12	15	15	30	30	315
12	15	20	20	40	40	400
15	15	25	25	50	50	500
20	20	30	30	65	65	630
25	25	40	40	65	65	800
30	30	50	50	100	100	1000

۶-۵. هماهنگی حفاظتی رله های منصوب در پست فوق توزیع

تنظیم رله های بکاررفته در سوئیچگیر فشار متوسط پست فوق توزیع به دلایل زیر اهمیت زیادی دارد و در نتیجه در این بخش به بررسی آن پرداخته می شود.

- اطمینان از رفع خطا تا قبل از حداکثر زمان مجاز تعیین شده در سطوح ولتاژ مختلف
- اطمینان از رعایت هماهنگی حفاظتی رله های پایین دست (یعنی R3 و R'3) با رله جریان زیاد ابتدای فیدر خروجی و حتی محل مناسب رله های مذکور

از طرف دیگر تنظیم واحدهای حفاظتی به ظرفیت نامی ترانسفورماتورهای بکاررفته در پست فوق توزیع و جریان نامی اولیه CT وابسته است. بنابراین در ادامه با فرض استفاده از دو ترانسفورماتور موازی با ظرفیتهای نامی مختلف ترانسفورماتور و مقادیر مختلف جریان نامی اولیه CT، مقادیر نمونه برای تنظیم واحدهای حفاظتی ارائه می شود.

۶-۵-۱. تنظیم مطلوب توابع حفاظتی رله های بکاررفته در سوئیچگیر با ولتاژ نامی ۱۱ کیلوولت

تنظیم نمونه توابع حفاظتی رله های فیدر خروجی، کوپلر و فیدر ورودی به ترتیب در جداول (۱۶)، (۱۷) و (۱۸) بیان شده است.

جدول (۱۶) تنظیم واحدهای حفاظتی رله فیدر خروجی پست فوق توزیع در شبکه ۱۱ کیلوولت

ظرفیت	جریان	50	51	50N	51N
-------	-------	----	----	-----	-----

TMS	Ipickup (pu)	Curve Type	Delay (ms)	Ipickup (pu)	TMS	Ipickup (pu)	Curve Type	Delay (ms)	Ipickup (pu)	Delay (ms)	Ipickup (pu)	نامی اولیه (A) CT	ترانسفورماتور قدرت (MVA)
0.70	0.20	VI	0.00	6.31	0.54	1.00	VI	0.12	9.09	0.00	19.10	200	15
0.70	0.20	VI	0.00	12.61	0.56	1.00	VI	0.12	10.00	0.00	20.00	200	30
0.70	0.20	VI	0.00	16.82	0.56	1.00	VI	0.12	10.00	0.00	20.00	200	40
0.70	0.20	VI	0.00	4.20	0.35	1.00	VI	0.12	6.06	0.00	12.73	300	15
0.70	0.20	VI	0.00	8.41	0.56	1.00	VI	0.12	10.00	0.00	20.00	300	30
0.70	0.20	VI	0.00	11.21	0.56	1.00	VI	0.12	10.00	0.00	20.00	300	40
0.55	0.20	VI	0.00	3.15	0.25	1.00	VI	0.12	4.55	0.00	9.55	400	15
0.70	0.20	VI	0.00	6.31	0.54	1.00	VI	0.12	7.50	0.00	19.10	400	30
0.70	0.20	VI	0.00	8.41	0.56	1.00	VI	0.12	7.50	0.00	20.00	400	40
0.43	0.20	VI	0.00	2.52	0.20	1.00	VI	0.12	3.64	0.00	7.64	500	15
0.70	0.20	VI	0.00	5.04	0.42	1.00	VI	0.12	6.00	0.00	15.28	500	30
0.70	0.20	VI	0.00	6.73	0.56	1.00	VI	0.12	6.00	0.00	20.00	500	40
0.35	0.20	VI	0.00	2.10	0.16	1.00	VI	0.12	3.03	0.00	6.37	600	15
0.70	0.20	VI	0.00	4.20	0.35	1.00	VI	0.12	5.00	0.00	12.73	600	30
0.70	0.20	VI	0.00	5.61	0.47	1.00	VI	0.12	5.00	0.00	16.98	600	40

جدول (۱۷) تنظیم واحدهای حفاظتی رله کوپلر پست فوق توزیع در شبکه ۱۱ کیلوولت

51N			50N		51			50		جریان نامی اولیه CT (A)	ظرفیت ترانسفورماتور قدرت (MVA)
TMS	Ipickup (pu)	Curve Type	Delay (ms)	Ipickup (pu)	TMS	Ipickup (pu)	Curve Type	Delay (ms)	Ipickup (pu)		
0.20	0.20	VI	---	---	0.15	1.00	VI	---	---	1000	15
0.20	0.20	VI	---	---	0.15	1.00	VI	---	---	2000	30
0.21	0.20	VI	---	---	0.16	1.00	VI	---	---	2500	40
0.20	0.20	VI	---	---	0.15	1.00	VI	---	---	1000	15
0.14	0.20	VI	---	---	0.11	1.00	VI	---	---	2500	30
0.21	0.20	VI	---	---	0.16	1.00	VI	---	---	2500	40

جدول (۱۸) تنظیم واحدهای حفاظتی رله فیدر ورودی پست فوق توزیع در شبکه ۱۱ کیلوولت

51N	50N	51	50	جریان نامی	ظرفیت
-----	-----	----	----	------------	-------

TMS	Ipickup (pu)	Curve Type	Delay (ms)	Ipickup (pu)	TMS	Ipickup (pu)	Curve Type	Delay (ms)	Ipickup (pu)	اولیه CT (A)	ترانسفورماتور قدرت (MVA)
0.22	0.25	VI	---	---	0.25	1.03	VI	---	---	1000	15
0.22	0.25	VI	---	---	0.28	1.03	VI	---	---	2000	30
0.25	0.25	VI	---	---	0.27	1.03	VI	---	---	2500	40
0.22	0.25	VI	---	---	0.25	1.03	VI	---	---	1000	15
0.16	0.25	VI	---	---	0.19	1.03	VI	---	---	2500	30
0.25	0.25	VI	---	---	0.27	1.03	VI	---	---	2500	40

۲-۵-۶. تنظیم مطلوب توابع حفاظتی رله های بکاررفته در سوئیچگیر با ولتاژ نامی ۲۰ کیلوولت

تنظیم نمونه توابع حفاظتی رله های فیدر خروجی، کوپلر و فیدر ورودی به ترتیب در جداول (۱۹)، (۲۰) و (۲۱) بیان شده است.

جدول (۱۹) تنظیم واحدهای حفاظتی رله فیدر خروجی پست فوق توزیع در شبکه ۲۰ کیلوولت

51N			50N		51			50				جریان نامی اولیه CT (A)	ظرفیت ترانسفورماتور قدرت (MVA)
TMS	Ipickup (pu)	Curve Type	Delay (ms)	Ipickup (pu)	TMS	Ipickup (pu)	Curve Type	Delay (ms)	Ipickup (pu)	Delay (ms)	Ipickup (pu)		
0.61	0.20	VI	0.00	3.47	0.32	1.00	VI	0.12	5.00	0.00	10.50	200	15
0.70	0.20	VI	0.00	6.94	0.56	1.00	VI	0.12	10.00	0.00	20.00	200	30
0.70	0.20	VI	0.00	9.25	0.56	1.00	VI	0.12	10.00	0.00	20.00	200	40
0.39	0.20	VI	0.00	2.31	0.21	1.00	VI	0.12	3.33	0.00	7.00	300	15
0.70	0.20	VI	0.00	4.62	0.39	1.00	VI	0.12	6.67	0.00	14.01	300	30
0.70	0.20	VI	0.00	6.17	0.52	1.00	VI	0.12	8.89	0.00	18.67	300	40
0.28	0.20	VI	0.00	1.73	0.15	1.00	VI	0.12	3.00	0.00	5.25	400	15
0.61	0.20	VI	0.00	3.47	0.28	1.00	VI	0.12	5.00	0.00	10.50	400	30
0.70	0.20	VI	0.00	4.62	0.39	1.00	VI	0.12	6.67	0.00	14.01	400	40
0.22	0.20	VI	0.00	1.39	0.12	1.00	VI	0.12	3.00	0.00	4.20	500	15
0.48	0.20	VI	0.00	2.77	0.22	1.00	VI	0.12	4.00	0.00	8.40	500	30
0.65	0.20	VI	0.00	3.70	0.30	1.00	VI	0.12	5.34	0.00	11.20	500	40
0.18	0.20	VI	0.00	1.16	0.10	1.00	VI	0.12	3.00	0.00	3.50	600	15
0.39	0.20	VI	0.00	2.31	0.18	1.00	VI	0.12	3.33	0.00	7.00	600	30
0.53	0.20	VI	0.00	3.08	0.25	1.00	VI	0.12	4.45	0.00	9.34	600	40

جدول (۲۰) تنظیم واحدهای حفاظتی رله کوپلر پست فوق توزیع در شبکه ۲۰ کیلوولت

51N	50N	51	50	جریان نامی	ظرفیت
-----	-----	----	----	------------	-------

TMS	Ipickup (pu)	Curve Type	Delay (ms)	Ipickup (pu)	TMS	Ipickup (pu)	Curve Type	Delay (ms)	Ipickup (pu)	اولیه CT (A)	ترانسفورماتور قدرت (MVA)
0.11	0.20	VI	---	---	0.09	1.00	VI	---	---	1000	15
0.22	0.20	VI	---	---	0.17	1.00	VI	---	---	2000	30
0.25	0.20	VI	---	---	0.19	1.00	VI	---	---	2500	40
0.08	0.20	VI	---	---	0.07	1.00	VI	---	---	1000	15
0.17	0.20	VI	---	---	0.14	1.00	VI	---	---	2500	30
0.19	0.20	VI	---	---	0.15	1.00	VI	---	---	2500	40

جدول (۲۱) تنظیم واحدهای حفاظتی رله فیدر ورودی پست فوق توزیع در شبکه ۲۰ کیلوولت

51N			50N		51			50		جریان نامی اولیه CT (A)	ظرفیت ترانسفورماتور قدرت (MVA)
TMS	Ipickup (pu)	Curve Type	Delay (ms)	Ipickup (pu)	TMS	Ipickup (pu)	Curve Type	Delay (ms)	Ipickup (pu)		
0.14	0.22	VI	---	---	0.16	1.03	VI	---	---	1000	15
0.28	0.22	VI	---	---	0.31	1.03	VI	---	---	2000	30
0.33	0.22	VI	---	---	0.32	1.03	VI	---	---	2500	40
0.09	0.22	VI	---	---	0.12	1.03	VI	---	---	1000	15
0.22	0.22	VI	---	---	0.23	1.03	VI	---	---	2500	30
0.24	0.22	VI	---	---	0.25	1.03	VI	---	---	2500	40

۳-۵-۶. تنظیم مطلوب توابع حفاظتی رله های بکاررفته در سوئیچگیر با ولتاژ نامی ۳۳ کیلوولت

تنظیم نمونه توابع حفاظتی رله های فیدر خروجی، کوپلر و فیدر ورودی به ترتیب در جداول (۲۲)، (۲۳) و (۲۴) بیان شده است.

جدول (۲۲) تنظیم واحدهای حفاظتی رله فیدر خروجی پست فوق توزیع در شبکه ۳۳ کیلوولت

51N	50N	51	50	جریان	ظرفیت
-----	-----	----	----	-------	-------



TMS	Ipickup (pu)	Curve Type	Delay (ms)	Ipickup (pu)	Delay (ms)	Ipickup (pu)	TMS	Ipickup (pu)	Curve Type	Delay (ms)	Ipickup (pu)	Delay (ms)	Ipickup (pu)	نامی اولیه CT (A)	ترانسفورماتور قدرت (MVA)
0.34	0.20	VI	0.12	4.00	0.00	6.37	0.32	1.00	VI	0.12	3.03	0.00	6.37	200	15
0.34	0.20	VI	0.12	4.00	0.00	12.73	0.35	1.00	VI	0.12	6.06	0.00	12.73	200	30
0.34	0.20	VI	0.12	4.00	0.00	16.98	0.47	1.00	VI	0.12	8.08	0.00	16.98	200	40
0.34	0.20	VI	0.12	4.00	0.00	4.24	0.21	1.00	VI	0.12	3.00	0.00	4.24	300	15
0.34	0.20	VI	0.12	4.00	0.00	8.49	0.22	1.00	VI	0.12	4.04	0.00	8.49	300	30
0.34	0.20	VI	0.12	4.00	0.00	11.32	0.31	1.00	VI	0.12	5.39	0.00	11.32	300	40
0.27	0.20	VI	0.12	3.18	0.00	3.18	0.15	1.00	VI	0.12	3.00	0.00	3.18	400	15
0.34	0.20	VI	0.12	4.00	0.00	6.37	0.16	1.00	VI	0.12	3.03	0.00	6.37	400	30
0.34	0.20	VI	0.12	4.00	0.00	8.49	0.22	1.00	VI	0.12	4.04	0.00	8.49	400	40
0.21	0.20	VI	---	---	0.00	2.55	0.12	1.00	VI	---	---	0.00	3	500	15
0.34	0.20	VI	0.12	4.00	0.00	5.09	0.12	1.00	VI	0.12	3.00	0.00	5.09	500	30
0.34	0.20	VI	0.12	4.00	0.00	6.79	0.17	1.00	VI	0.12	3.23	0.00	6.79	500	40
0.17	0.20	VI	---	---	0.00	2.12	0.10	1.00	VI	---	---	0.00	3	600	15
0.34	0.20	VI	---	---	0.00	4.24	0.10	1.00	VI	0.12	3.00	0.00	4.24	600	30
0.34	0.20	VI	0.12	4.00	0.00	5.66	0.14	1.00	VI	0.12	3.00	0.00	5.66	600	40

جدول (۲۳) تنظیم واحدهای حفاظتی رله کوپلر پست فوق توزیع در شبکه ۳۳ کیلوولت

51N			50N		51			50		جریان نامی اولیه CT (A)	ظرفیت ترانسفورماتور قدرت (MVA)
TMS	Ipickup (pu)	Curve Type	Delay (ms)	Ipickup (pu)	TMS	Ipickup (pu)	Curve Type	Delay (ms)	Ipickup (pu)		
0.56	0.20	VI	---	---	0.09	1.00	VI	---	---	1000	15
0.56	0.20	VI	---	---	0.12	1.00	VI	---	---	2000	30
0.56	0.20	VI	---	---	0.17	1.00	VI	---	---	2500	40
0.56	0.20	VI	---	---	0.09	1.00	VI	---	---	1000	15
0.56	0.20	VI	---	---	0.12	1.00	VI	---	---	2500	30
0.56	0.20	VI	---	---	0.17	1.00	VI	---	---	2500	40

جدول (۲۴) تنظیم واحدهای حفاظتی رله فیدر ورودی پست فوق توزیع در شبکه ۳۳ کیلوولت

51N			50N		51			50		جریان نامی اولیه CT (A)	ظرفیت ترانسفورماتور قدرت (MVA)
TMS	Ipickup (pu)	Curve Type	Delay (ms)	Ipickup (pu)	TMS	Ipickup (pu)	Curve Type	Delay (ms)	Ipickup (pu)		

قدرت (MVA)											
15	1000	---	---	VI	1.03	0.15	---	---	VI	0.22	0.90
30	2000	---	---	VI	1.03	0.20	---	---	VI	0.22	0.99
40	2500	---	---	VI	1.03	0.29	---	---	VI	0.22	0.99
15	1000	---	---	VI	1.03	0.15	---	---	VI	0.22	0.90
30	2500	---	---	VI	1.03	0.20	---	---	VI	0.22	0.99
40	2500	---	---	VI	1.03	0.29	---	---	VI	0.22	0.99

۷. تنظیم واحدهای حفاظتی و نظارتی تکمیلی

۷-۱. تشخیص قطع یک فاز در فیدر فشار متوسط

الف. خطای قطع یک فاز در شرایط زیر ایجاد می شود.

- قطع یا وصل نامتقارن توسط کات اوت فیوز یا هر نوع جداکننده تکفاز
- سوختن فیوز فشار متوسط در یک فاز در صورت عدم استفاده از مکانیزم قطع سه فاز
- قطع شدن اتصال جمپر بین مقره های کششی، پاره شدن هادی یک فاز یا جدا شدن از کلمپ
- خارج شدن سکسیونر سه فاز از حالت رگلاژ یا اشکال مکانیکی در کلید قدرت (معروف به خطای ناهماهنگی پلهای کلید)^۱

ب. در اثر رخداد این خطا و استمرار آن مشکلات زیر ایجاد می شود.

- فرورزناس بین اندوکتانس مغناطیس کنندگی ترانسفورماتور توزیع و خازن فاز به زمین فیدر فشار متوسط از محل ترانسفورماتور تا محل قطع یک فاز (به ویژه در صورت بکارگیری کابل با طول بیش از حدود ۱۵ متر بین ترانسفورماتور توزیع و محل قطع یک فاز)
- فرورزناس بین ترانسفورماتور ولتاژ نصب شده بین دو فاز و خازن فاز به فاز فیدر فشار متوسط
- افت شدید ولتاژ بین فاز و زمین در دو فاز مربوط به سمت فشار ضعیف ترانسفورماتورهای توزیع پایین دست نسبت به محل قطع یک فاز
- اضافه بار حرارتی در ترانسفورماتورهای توزیع پایین دست
- مشکلات ایمنی ناشی از پاره شدن هادی و برخورد آن با زمین و تشکیل خطای امپدانس بالا
- عدم تعادل شدید ولتاژی در شبکه فشار متوسط پایین دست

د. توصیه می شود رله های جریان زیاد حفاظت ترانسفورماتور، رله حفاظتی مورد استفاده در طول فیدر، مازول حفاظتی رکلوژر و رله حفاظتی ابتدای فیدر فشار متوسط مجهز به تابع تشخیص قطع هادی باشند.

¹ Pole Discordance

این تابع حفاظتی که معمولاً بر اساس نسبت جریان مولفه منفی به جریان مولفه مثبت کار می کند با کد 46BC^۱، 46PD یا $I_2/I_1 >$ معرفی می شود.

ه. از تابع تشخیص قطع هادی در سمت فشار قوی ترانسفورماتور توزیع به عنوان حفاظت پشتیبان برای تشخیص اتصال کوتاه نامتقارن در شبکه فشار ضعیف، قطع یک یا دو فاز در سمت فشار ضعیف و خطای داخلی ترانسفورماتور نیز استفاده می شود.

و. توصیه می شود که تنظیم این تابع حفاظتی بصورت زیر باشد:

- برای نسبت I_2/I_1 از تنظیم ۰,۲ استفاده شود.
- زمان عملکرد رله های حفاظت ترانسفورماتور توزیع، رله بکار رفته در طول فیدر فشار متوسط و رله ابتدای فیدر فشار متوسط به ترتیب برابر با ۵۱، ۵۰ و ۵۲ ثانیه در نظر گرفته شود. بایستی توجه شود که فاصله زمانی بین بازکردن اولین و دومین فاز کات اوت فیوز یا هر نوع سوئیچ تکفاز (یا فاصله زمانی بین بستن دومین و سومین فاز) در طول فیدر فشار متوسط باید کمتر از زمان ۵۰ ثانیه باشد.
- اگر هر دو شرط زیر وجود داشته باشد، توصیه می شود زمان عملکرد رله های حفاظت ترانسفورماتور توزیع، رله بکار رفته در طول فیدر فشار متوسط و رله ابتدای فیدر فشار متوسط به ترتیب برابر با ۵، ۴ و ۶ ثانیه در نظر گرفته شود.
 - هیچ قطع کننده تکفازی در بالاتر از محل نصب رله 46BC بکار نرفته باشد.
 - قطع کننده تکفاز در پایین دست وجود نداشته باشد یا اینکه اگر وجود دارد، کمتر از ۱۰ درصد بارهای شبکه را (نسبت به بار عبوری از محل نصب رله 46BC) تشکیل دهد.
- در صورت امکان تنظیم جریان مولفه مثبت به عنوان شرط عملکرد این تابع حفاظتی، تنظیم آن برابر با ۰,۰۵ پریونیت (در مبنای جریان نامی CT) در نظر گرفته شود.
- ز. در صورتی که واحد 46BC در رله حفاظتی وجود نداشته باشد، توصیه می شود از واحد تشخیص جریان مولفه منفی (با کد ANSI برابر با ۴۶) استفاده شود. در این حالت جریان حد عملکرد مولفه منفی، برابر با ۰,۲ پریونیت (در مبنای جریان نامی CT) توصیه می شود.

۷-۲. حفاظت در برابر اضافه بار حرارتی

۷-۲-۱. حفاظت فیدر

الف. در فیدرهای هوایی بدون عایق توصیه می شود که از تابع حفاظتی اضافه بار حرارتی (کد ANSI برابر با ۴۹) استفاده شود.

¹ Phase Discountinuty (PD)

ب. در فیدرهای هوایی روکش دار، خودنگهدار و کابل زمینی، استفاده از تابع حفاظتی اضافه بار حرارتی الزامی است.

ج. تنظیم این واحد حفاظتی مطابق جدول (۲۵) انجام می شود.

جدول (۲۵) تنظیم واحد اضافه بار حرارتی فیدر

۱. جریان حد عملکرد از رابطه زیر محاسبه می شود که I_{pn} جریان نامی اولیه CT نصب شده برای حفاظت فیدر و I_{Th} جریان حد حرارتی هادی است که از جدول (۷) بدست می آید.

$$I_{pickup-OL} = \text{Min}(I_{pn}, I_{Th})$$

۲. ثابت زمانی حرارتی در فیدر هوایی و کابل زمینی به ترتیب برابر با ۱۰ و ۲۰ دقیقه در نظر گرفته می شود.

۲-۲-۲. حفاظت ترانسفورماتور

الف. در صورت استفاده از رله حفاظتی دیجیتال در سمت فشار ضعیف ترانسفورماتور توزیع، لازم است این رله مجهز به تابع حفاظتی اضافه بار بوده و از آن برای حفاظت ترانسفورماتور استفاده شود.

در فیدرهای هوایی بدون عایق از تابع حفاظتی اضافه بار حرارتی (کد ANSI برابر با ۴۹) استفاده شود. استفاده از این تابع در فیدرهای هوایی روکش دار، خودنگهدار و کابل زمینی الزامی است.

ب. واحد حفاظتی اضافه بار حرارتی ترانسفورماتور مطابق جدول زیر تنظیم شود.

جدول (۲۶) تنظیم واحد اضافه بار حرارتی ترانسفورماتور

۱. جریان حد عملکرد مطابق رابطه زیر تعریف شود:

$$I_{pickup-OL} = 0.9 \times I_{n-Tr} \times K_{Derating} / K_{Zero}$$

الف) اگر اندازه گیری جریان از سمت فشار ضعیف ترانسفورماتور باشد:

$$I_{n-Tr} = \frac{S_N}{\sqrt{3} \times V_N} \quad K_{Zero} = 1$$

ب) اگر اندازه گیری جریان از سمت فشار قوی ترانسفورماتور باشد:

$$I_{n-Tr} = \frac{0.95 \times S_N}{\sqrt{3} \times V_N} \quad K_{Zero} = 1.1$$

در روابط فوق S_N و V_N به ترتیب ظرفیت ترانسفورماتور و ولتاژ نامی ترانسفورماتور از سمت اندازه گیری است. ضمناً ضریب $K_{Derating}$ بصورت زیر محاسبه می شود.

$$K_{Derating} = 1 - 0.015 \times \Delta\theta$$

$$\Delta\theta = (\theta_{amb-site} + K_{Sun} - \theta_{amb-design}) + \frac{H_{site} - H_{design}}{400}$$

• در ترانسفورماتورهایی که بر روی پایه نصب می شوند و فاقد سایه بان هستند به میزان ۵ درجه سانتیگراد برای لحاظ کردن اثر تابش مستقیم خورشید افزوده شود ($K_{Sun} = 5$).

• اگر ترانسفورماتور توزیع داخل اتاقک نصب شود، تابش مستقیم نور خورشید وجود ندارد و لذا $K_{Sun} = 0$ است.

- اگر ترانسفورماتور توزیع داخل اتاقکی نصب شود که دارای تهویه مناسبی نباشد، باید اثر آن را در افزایش دمای محیط در نظر گرفت و در این حالت K_{Sun} بر اساس تجربه بهره برداری تعیین شده و لااقل برابر با ۳ فرض می شود.
- ۲. ثابت زمانی حرارتی برابر ۴۰ دقیقه تنظیم شود.

* θ بیانگر دما و H بیانگر ارتفاع است.

۷-۳. تنظیم واحدهای نظارتی

۷-۳-۱. واحد تشخیص جریان هجومی

الف. روش متداول برای تشخیص جریان هجومی ترانسفورماتور، استفاده از نسبت هارمونیک دوم به هارمونیک اول جریان است که تنظیم نمونه برای آن برابر با ۰,۲ توصیه می شود. ضمناً در صورتی که حداقل مقدار قابل تنظیم در رله بیشتر از مقدار فوق باشد، این پارامتر برابر با حداقل مقدار، تنظیم می شود.

ب. در برخی رله های حفاظتی تنظیمی با نام Cross blocking در نظر گرفته شده است که بصورت پیش فرض برای افزایش حساسیت رله در تشخیص خطا، OFF (یا Disable) می شود. البته در صورتی که ولتاژ زانوی اشباع CT به اندازه ای کم باشد که در عمل واحد تشخیص خطای زمین به هنگام برقرار کردن ترانسفورماتور توزیع یا فیدر تحت حفاظت رله با عملکرد نابجا مواجه شود، توصیه می گردد که تنظیم واحد Cross blocking در رله ON (یا Enable) گردد. این حالت عموماً زمانی پیش می آید که از CT پنجره ای با ولتاژ زانوی اشباع کمتر از حد مورد نیاز، استفاده شده باشد.

ج. در صورت تنظیم پذیر بودن، واحد تشخیص جریان هجومی برای غیرفعال کردن یا کاهش حساسیت موقتی در واحدهای تاخیری جریان زیاد (51)، خطای زمین (51N) و مولفه منفی (46) استفاده شود. البته در برخی از رله ها، امکان انتخاب واحدهای حفاظتی برای قفل رله به هنگام تشخیص جریان هجومی وجود ندارد و معمولاً در این حالت، همه واحدهای حفاظتی قفل می شوند (یا حساسیت آنها کاهش می یابد).

۷-۳-۲. واحد تشخیص اضافه جریان راه اندازی بار سرد^۱

الف. اگر بار پایین دست محل نصب رله (در ترانسفورماتور، طول فیدر یا ابتدای فیدر فشار متوسط) بیش از زمان تنظیمی T_1 از مدار خارج شود، در اینصورت برای جلوگیری از عملکرد نابجای توابع حفاظتی تاخیری ناشی از اضافه جریان بارهای موتوری کنترل شونده با ترموستات، واحد تشخیص CLPU پس از برق دار شدن بار به صورت موقتی فعال شده و تا مدت زمان T_2 تنظیم برخی واحدهای حفاظتی (به ویژه واحد جریان زیاد تاخیری) را افزایش می دهد. پس از زمان T_2 ، تنظیم این واحدهای حفاظتی به مقدار اولیه باز می گردد.

¹ Cold Load Pickup (CLPU)

ب. تنظیم نمونه زمان های T_1 و T_2 به ترتیب برابر با ۳۰ دقیقه و ۱۰ دقیقه می باشد. بعلاوه توصیه می شود که تنظیم جریان حد عملکرد واحد 51 (حفاظت جریان زیاد تاخیری) در مدت زمان T_2 ، حدود ۲ برابر مقدار حالت عادی در نظر گرفته شود.

ج. چنانچه به دلیل اشباع CT ناشی از مولفه DC میراشونده و همچنین افزایش دامنه جریان راه اندازی بارهای موتوری، واحدهای تشخیص خطای زمین یا نامتعادلی جریان (که بر اساس جریان مولفه صفر یا منفی کار می کنند) به اشتباه تریپ دهند، می توان تنظیم واحدهای مذکور را نیز در مدت زمان T_2 بصورت موقت تا دو برابر جریان حد عملکرد افزایش داد.

۴-۷. واحد نظارت بر میزان فرسودگی کلید

الف. توصیه می شود از واحد نظارتی برای پایش محفظه قطع و مکانیزم فرمان کلید قدرت و همچنین به منظور صدور آلام به هنگام فرا رسیدن زمان سرویس کلید قدرت استفاده شود. این واحد دارای دو تابع نظارتی برای تعیین میزان فرسودگی محفظه قطع (کنتاکت قوس) و مکانیزم عملکرد می باشد.

ب. به منظور تعیین تعداد دفعات مجاز قطع جریان، از منحنی فرسودگی کلید^۱ استفاده می شود که توسط شرکت سازنده کلید قدرت داده می شود و از اطلاعات آن برای تنظیم این واحد استفاده می شود. از این منحنی چهار عدد استخراج می شود که برای تنظیم رله بکار می رود و در شرایط نسبتاً بدبینانه، شامل اعداد زیر است:

- جریان نامی (۶۳۰ آمپر)
 - تعداد دفعات مجاز قطع کلید در جریان نامی (۱۰۰۰۰ بار)
 - جریان نامی اتصال کوتاه (۱۲۵۰۰ آمپر)
 - تعداد دفعات مجاز قطع کلید در جریان نامی اتصال کوتاه (۲۰ بار)
- ج. به کمک این تابع حفاظتی می توان عمر سپری شده محفظه قطع کلید را متناظر با جریان عبوری در لحظه قطع جریان بصورت تجمعی محاسبه نمود. توصیه می شود که چنانچه مجموع عمر سپری شده محفظه قطع به مقدار ۰,۹ پریونیت برسد، پیغام آلام برای سرویس کلید قدرت صادر می شود.
- د. بایستی توجه نمود که چنانچه جریان خطا فقط از کلید قدرت عبور نماید ولی توسط کلید دیگری قطع شود، تاثیری بر کاهش عمر کلید ندارد. بنابراین به منظور عملکرد صحیح این واحد لازم است یک ورودی دیجیتال رله برای تعیین وضعیت کنتاکت کمکی کلید قدرت اختصاص یابد.
- ه. چنانچه تعداد دفعات عملکرد کلید قدرت (بر اساس وضعیت کنتاکت کمکی کلید که بصورت ورودی دیجیتال وارد رله می شود) بیش از ۰,۹ برابر مقدار گارانتی شده توسط سازنده کلید باشد (که بصورت پیش

¹ Breaker wear curve

فرض برابر با ۱۰۰۰۰ در نظر گرفته می شود)، پیغام آلام صادر می شود که به معنای لزوم سرویس مکانیزم فرمان کلید و سایر بخشهای متحرک است.

۵-۷. مکان یابی خطا

الف. در شبکه های سنتی از نشانگر خطا برای تشخیص محدوده رخداد اتصال کوتاه در شبکه فشار متوسط استفاده می شود. این روش با برقراری ارتباط بین نشانگر خطا و مرکز کنترل بهبود یافته و قابلیت استفاده در شبکه هوشمند را پیدا کرده است. البته توصیه می شود از تجهیزاتی که در کنار اندازه گیری پارامترهای الکتریکی، حفاظت بخشی از شبکه یا کنترل یک کلید فرمان پذیر قابلیت استفاده به عنوان نشانگر خطا را دارند، استفاده شود.

ب. توصیه می شود از واحد مکان یاب خطای مبتنی بر رله دیستانس در کنترل کننده کلیه سوئیچ های فرمان پذیر از راه دور (رکلوزر و سکسیونر قابل قطع زیر بار) استفاده شود. ضمناً برای بهبود دقت این روش لازم است سیستم های مدیریت توزیع که در مرکز کنترل بکار می رود و امکان برقراری ارتباط با GIS و اسکادا را دارد، توسعه یابد.

۶-۷. حفاظت بانک خازنی فشار متوسط

الف. همانطور که در شکل (۱۱) مشاهده می شود، توصیه می شود یکی از اتصالات ستاره زمین نشده^۱ یا جفت ستاره زمین نشده^۲ در بانک خازنی مورد استفاده در طول فیدر فشار متوسط استفاده شود. البته به دلیل اینکه ظرفیت بانک خازنی بکاررفته در طول فیدر فشار متوسط نسبتاً پایین است، عموماً روش (الف) بکار می رود.

ب. برای جلوگیری از رخداد خطای آبشاری^۳ در بانک خازنی بدون فیوز داخلی پس از اتصال کوتاه شدن یک المان، لازم است تعداد گروه المان های سری در یک واحد خازنی برابر یا بزرگتر از ۱۱ در نظر گرفته شود. ضمناً توصیه می شود که ولتاژ نامی واحد خازنی برابر یا بزرگتر از ۱٫۱ پریونیت (در مبنای ولتاژ نامی فاز به زمین شبکه) انتخاب شود.

ج. بکارگیری یکی از روش های زیر برای حفاظت بانک خازنی و یا شبکه در برابر رخداد خطا در بانک خازنی الزامی است :

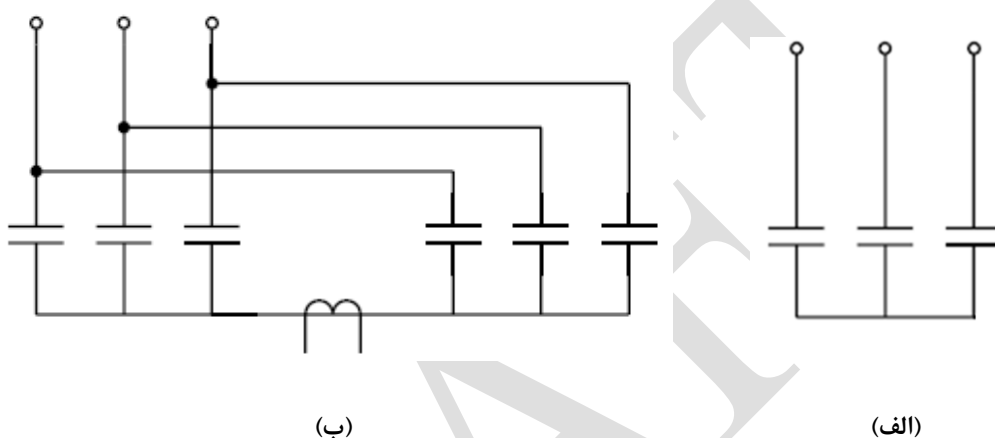
- فیوز با جریان نامی بین ۱٫۲۵ تا ۱٫۳۵ برابر جریان نامی بانک خازنی در ولتاژ نامی، که به ویژه در مناطق صاعقه خیز لازم است از نوع کندسوز انتخاب شود. ضمناً ولتاژ نامی فیوز باید برابر با ولتاژ

^۱ Ungrounded Star

^۲ Ungrounded Double Star

^۳ Cascading Failure

- نامی فاز به فاز سیستم انتخاب شود. لازم به ذکر است که این فیوز برای حفاظت شبکه بالادست به هنگام اتصال کوتاه شدن بانک خازنی یا رخداد پدیده خطای آبشاری در آن استفاده می شود.
- در صورت استفاده از اتصال ستاره زمین نشده، می توان از رله حفاظتی برای تشخیص رخداد اتصال کوتاه در المان های بانک خازنی استفاده کرد. برای این منظور رله جریان زیاد تشخیص جریان مولفه منفی و یا رله مبتنی بر ولتاژ نوترال بانک خازنی نسبت به زمین توصیه می شود.
 - در صورت استفاده از اتصال بانک خازنی جفت ستاره زمین نشده، توصیه می شود رله جریان زیاد مبتنی بر جریان عبوری از نوترال بین دو بانک خازنی با اتصال ستاره، بکار رود.



شکل (۱۱) بانک خازنی سه فاز با اتصال (الف) ستاره زمین نشده و (ب) جفت ستاره زمین نشده

۷-۷. سایر موارد

الف. توابع حفاظتی به شرح زیر در رله های امروزی مورد استفاده برای حفاظت شبکه توزیع متداول نیستند. ولی با توجه به روند به رشد تولید تجهیزات حفاظتی در داخل کشور توصیه می شود که این توابع نیز در رله های ساخت داخل بکار گرفته شود تا تاثیر قابل توجهی در ارتقای سطح حفاظت شبکه توزیع داشته باشد.

- در رله جریانی بکاررفته در سمت فشار ضعیف ترانسفورماتور، توصیه می شود از حفاظت خطای زمین محدود شده (REF) برای افزایش حساسیت در تشخیص خطای فاز به زمین در سیم پیچ فشار ضعیف ترانسفورماتور توزیع استفاده شود. با این کار علاوه بر افزایش حساسیت رله در تشخیص خطای داخلی ترانسفورماتور، پایداری رله نیز به مراتب افزایش می یابد. این روش در رله های با ۵ ورودی مستقل جریانی که علاوه بر سه فاز، جریان عبوری از نول و جریان عبوری از نقطه اتصال نوترال ترانسفورماتور به زمین را اندازه گیری می کنند قابل استفاده است. بعلاوه در رله های با ۴ ورودی جریانی که جریان سه فاز و جریان نوترال را اندازه گیری می نمایند نیز می تواند بکار رود.

- گاهی تجهیزات مورد استفاده در شبکه نظیر ترانسفورماتور فوق توزیع، کلید، سکسیونر، CT، هادی و کابل توانایی تحمل عبور جریان خطا را بصورت مکرر ندارد و با مشکل اضافه دما مواجه می شود. مثلاً در صورتی که در یک فیدر طولانی به دلیل شرایط نامساعد جدی چندین بار اتصال کوتاه گذرا در دوره زمانی کوتاهی رخ دهد و هر بار با عملکرد رکلوزر مجدداً برق دار شود، ممکن است به تدریج با افزایش دمای شدید در تجهیزات مواجه شده و به آن آسیب بزند. بنابراین توصیه می شود که لااقل یکی از رله های بالادستی (نظیر رله نصب شده در فیدر ورودی به باس بار فشار متوسط پست فوق توزیع، رله بکاررفته در ابتدای فیدر فشار متوسط یا رله حفاظتی مورد استفاده در رکلوزر) مجهز به واحد اندازه گیری تجمعی افزایش دمای ناشی از اتصال کوتاه باشند که بر اساس مقدار تجمعی I^2t کار می کند. این کار برای حفاظت هادی روکش دار و ترانسفورماتور فوق توزیع بالادست در صورت بکارگیری وصل مجدد در شبکه توزیع اکیدا توصیه می شود.

- اگر جریان عبوری از رکلوزر بیش از جریان حد عملکرد واحد آنی رله بالادست باشد، توصیه می شود رکلوزر قفل شود تا از پیرشدن محفظه قطع آن جلوگیری شود (لزوم بکارگیری واحد قفل رکلوزر به هنگام عبور جریان بیش از مقدار تنظیمی)

ب. دامنه بالای جریان خطا در شبکه ۳۳ کیلوولت که مستقیم زمین شده است، باعث تنش شدید حرارتی و مکانیکی به تجهیزات شبکه توزیع و پست فوق توزیع شده و هماهنگی حفاظتی را با مشکلات عدیده مواجه می سازد. بنابراین توصیه می شود بجای اتصال مستقیم نوترال سیم پیچ ۳۳ کیلوولت در پست های فوق توزیع و انتقال، از مقاومت (NGR) برای این منظور استفاده شود. حتی در بلند مدت می توان از ترانسفورماتورهای با اتصال YNd بجای ترانسفورماتورهای متداول در شبکه برق خوزستان (با اتصال Dyn) استفاده کرد تا مشکل مذکور در شبکه استان خوزستان بصورت ریشه ای حل شود.

ج. از منظر فنی و اقتصادی توصیه می شود برای حفاظت ترانسفورماتور توزیع در پست زمینی از CT نوع حلقوی فشار ضعیف استفاده شده و استفاده از CTهای بوشینگی برای این منظور توصیه نمی شود. ضمناً در سکسیونرهای هوایی توصیه می شود که CT نوع حلقوی فشار ضعیف داخل سکسیونر استفاده شود.

۸. آماده سازی و تست عملکرد رله های حفاظتی دیجیتال

۸-۱. آزمون های ارزیابی عملکرد در زمان نصب و راه اندازی

این آزمون ها یک بار پس از نصب تجهیزات حفاظتی مبتنی بر رله دیجیتال انجام می شود تا اطمینان حاصل شود که هر یک از اجزای سیستم حفاظتی به نحو مطلوبی انتخاب، تولید و نصب شده اند.

۸-۱-۱. آزمون های مربوط به رله حفاظتی دیجیتال

الف. برای اطمینان از اندازه گیری صحیح جریان توسط رله، لازم است جریان با دامنه کمتر از حد عملکرد و بیشتر از حد عملکرد هر یک از توابع جریان زیاد و خطای زمین به فازهای مختلف رله تزریق شود و مقدار اندازه گیری شده توسط رله قرائت گردد. حداکثر خطای حاصل با در نظر گرفتن خطای دستگاه اندازه گیری، بایستی با عدم قطعیت گارانتی شده توسط سازنده رله همخوانی داشته باشد.

ب. توصیه می شود در زمان راه اندازی، آزمون های بیان شده در جدول (۲۶) بر روی کلیه رله های حفاظتی دیجیتال و همچنین ماژول حفاظتی سوئیچ های بکاررفته در شبکه توزیع (نظیر رکلوزر) انجام شود که بیانگر تست عملکردی توابع حفاظتی است. لازم به ذکر است که این آزمون با تزریق جریان بصورت تکفاز انجام می شود. ضمناً تزریق جریان توسط دستگاه تست می تواند از سمت اولیه ترانسفورماتور جریان انجام شود که به تزریق از اولیه^۱ معروف است یا اینکه می توان جریان را مستقیماً به ترمینال های رله تزریق نمود که به تزریق از ثانویه^۲ معروف می باشد.

ج. شرط پذیرش بیان شده در جدول (۲۶) به عنوان راهنمای کلی است که بر اساس تفرانس اعلام شده توسط سازندگان رله و همچنین دقت دستگاه تست میدانی بیان شده است. در صورت داشتن اطلاعات دقیقتر از کاتالوگ سازنده رله و یا نتایج تایپ تست آن و در صورت اطلاع از خطای دستگاه اندازه گیری می توان شرط پذیرش را اصلاح نمود.

د. علاوه بر تست های عملکردی مربوط به توابع بیان شده در جدول (۲۶) لازم است سایر توابع حفاظتی و نظارتی حداقل در یک دستگاه رله از هر سازنده انجام شود. ضمناً توصیه می شود در صورت خرید بیش از بیست دستگاه رله، حداقل یکی از آنها بصورت تصادفی انتخاب شده و کلیه تست های عملکردی برای اطمینان از همخوانی مشخصات فنی ادعا شده توسط سازنده با محصول نهایی خریداری شده، انجام شود.

ه. در صورتی که بررسی های اولیه (به ویژه با روش تحلیل ثبات خطا و وقایع رله) نشان دهنده وجود اشکال در سیستم حفاظتی باشد، بنا به موضوع می توان تست های عملکردی بیان شده در جدول (۲۶) را انجام داد.

جدول (۲۶) آزمون های راه اندازی رله حفاظتی دیجیتال

ردیف	نام آزمون	روش آزمون	توضیحات
۱	تعیین جریان حد عملکرد توابع جریان زیاد (تاخیری یا آنی)	جریان از ۰٫۸ تا ۱٫۲ برابر جریان تنظیمی حد عملکرد تابع حفاظتی مورد نظر (تاخیری یا آنی) بصورت Ramp در مدت زمان ۵ ثانیه تزریق می	لازم است سایر توابعی که تداخل عملکرد دارند غیر فعال شوند (توابع تشخیص خطای زمین، مولفه منفی،

^۱ Primary Injection^۲ Secondary Injection

	در هر فاز بصورت (مستقل)	شود و جریان در لحظه استارت شدن تابع حفاظتی بر اساس LED یا HMI یا خروجی دیجیتال رله تعیین می شود.	تشخیص قطع یک فاز و اضافه بار) شرط پذیرش: انحراف کمتر از ۵٪ نسبت به جریان حد عملکرد تنظیمی
۲	تعیین جریان حد عملکرد توابع خطای زمین	مشابه تست (۱)	در این آزمایش نیز توابع جریان زیاد، مولفه منفی، تشخیص قطع یک فاز و اضافه بار غیر فعال می شوند.
۳	تعیین جریان حد ریست شدن توابع جریان زیاد و خطای زمین	جریان از ۱٫۲ تا ۰٫۸ برابر جریان تنظیمی حد عملکرد بصورت Ramp در مدت زمان ۵ ثانیه کاهش می یابد تا رله از حالت عملکرد خارج شود.	در تست هر تابع، باید سایر توابع حفاظتی غیر فعال باشد. شرط پذیرش: انحراف کمتر از ۵٪ نسبت به جریان حد عملکرد تنظیمی (۱۰ درصد در صورت تأیید تلهانس بالاتر از ۵٪ توسط سازنده رله)
۴	تعیین زمان عملکرد توابع جریانی با مشخصه معکوس	جریان ۲ برابر مقدار تنظیمی به یک فاز رله تزریق شده و زمان عملکرد تابع حفاظتی آن فاز اندازه گیری می شود. این آزمون چهار مرتبه (برای هر یک از سه فاز و زمین) انجام می شود.	زمان عملکرد بر اساس روابط تئوری محاسبه شده و نباید بیش از ۵ درصد نسبت به مقدار اندازه گیری اختلاف داشته باشد
۵	تعیین زمان عملکرد توابع جریانی با مشخصه آنی	جریان ۲ برابر مقدار تنظیمی حد عملکرد به رله تزریق شده و زمان عملکرد اندازه گیری می شود. این آزمون چهار مرتبه انجام می شود.	زمان عملکرد باید کمتر از ۴۰ میلی ثانیه باشد.
۶	تست تابع اضافه بار حرارتی	جریان حد عملکرد و ریست مشابه (۱) و (۳) برای یکی از فازها (فازی که بیشترین انحراف را داشته است) انجام می شود.	شرط پذیرش: انحراف کمتر از ۵٪ در حد عملکرد و ریست نسبت به مقدار تنظیمی
۷	تست تابع تشخیص قطع یک فاز	جریان تکفاز به دو فاز تزریق می شود به نحوی که از یک فاز وارد و از فاز دیگر خارج شود.	شرط پذیرش: انحراف کمتر از ۵ درصد در زمان عملکرد واحد 46BC
۸	تست تابع عدم تعادل جریان	مشابه (۷)	انحراف کمتر از ۵٪ در حد عملکرد و ریست نسبت به نصف جریان تزریقی و همچنین انحراف کمتر از ۵٪ در زمان عملکرد نسبت به مقدار تنظیمی

۸-۱-۲. آزمون های مربوط به سایر اجزای سیستم حفاظتی

الف. در مرحله راه اندازی سیستم حفاظتی، سایر اجزای آن نیز باید تست شوند. آزمون های مورد نیاز در هر تجهیز در جدول (۲۷) نشان داده شده است. روش انجام آزمون و معیار پذیرش مطابق دستورالعمل سازندگان تجهیزات مربوطه یا سازنده دستگاه تست می باشد.

ب. در مرحله بهره برداری از سیستم حفاظتی نیز چنانچه بررسی های اولیه (به ویژه با روش تحلیل ثبات خطا و وقایع رله) نشان دهنده وجود اشکال در سیستم حفاظتی باشد، بنا به موضوع می توان تست های عملکردی بیان شده در جدول (۲۷) را روی یک یا چند تجهیز انجام داد.

ج. انجام آچارکشی در کلیه اتصالات و بررسی ظاهری در تجهیزات مختلف سیستم حفاظتی الزامی است.

جدول (۲۷) آزمون های راه اندازی سایر تجهیزات سیستم حفاظتی

ردیف	تجهیز تحت تست	نام آزمون های راه اندازی
۱	تستهای ترانسفورماتورهای جریان	- نسبت تبدیل - پلاریته - مشخصه اشباع هسته - مقاومت سیم پیچ ثانویه
۲	تستهای کلید قدرت	- زمان عملکرد (قطع و وصل) - اندازه گیری مقاومت استاتیکی کنتاکت - آنالیز جریان کویل قطع - آنالیز جریان موتور شارژ فنر و مدت زمان شارژ
۳	تست ترانسفورماتور ولتاژ (تغذیه)	- نسبت تبدیل - مقاومت سیم پیچ های اولیه و ثانویه
۴	تست مبدل الکترونیک قدرت برای تغذیه رله (UPS یا شارژر)	- اطمینان از تغذیه ورودی مبدل و حفاظت آن با MCB - قطع تغذیه ورودی به مبدل و اطمینان از کارکرد آن (به دلیل تغذیه از باتری، حتی برای یک لحظه نباید رله ها خاموش شوند) - قطع اتصال باتری از شارژر و اطمینان از تغذیه رله ها و مدار (حتی برای یک لحظه نباید رله ها خاموش شوند)
۵	تست باتری	- اندازه گیری ولتاژ باتری ها پس از قطع تغذیه ورودی شارژر و در حالت تغذیه رله ها (یک بار پس از قطع شارژر و یک بار پس از نیم ساعت و اطمینان از عدم افت شدید ولتاژ با توجه به جریان مدار و آمپر-ساعت باتری ها)
۶	تست مدار فرمان قطع کلید	توصیه می شود که جریان با دامنه دو برابر حد عملکرد واحد آئی از سمت اولیه تزریق شده و ضمن اطمینان از قطع کلید، مدت زمان آن ثبت شود.

۸-۲. ارزیابی دوره ای عملکرد

این آزمون ها بصورت دوره ای در مرحله بهره برداری از تجهیزات سیستم حفاظتی انجام می شود تا اطمینان حاصل شود که در شرایط رخداد خطا در شبکه، سیستم حفاظتی آمادگی عملکرد مطلوب را دارد.

۸-۲-۱. روش مبتنی بر تحلیل ثبات خطا و وقایع

در شبکه های توزیع به دلیل تعداد زیاد تجهیزات، کم بودن پرسنل متخصص در زمینه تحلیل عملکرد و ارزیابی وضعیت سیستم های حفاظتی و مشکلات مربوط به تامین دستگاه های تست به تعداد مورد نیاز، بهتر است از روشهای خودکار و ابزارهای با کاربری ساده برای ارزیابی دوره ای عملکرد سیستم های حفاظتی استفاده شود. بر این اساس توصیه می شود که شرکت های توزیع به سمت استفاده از ابزارهای نوین و تحلیل های هوشمند حرکت نمایند که راهنمای کلی در این زمینه در ادامه بیان شده است.

الف. لازم است رله های جریانی بکاررفته در شبکه توزیع مجهز به ثبات خطا برای ذخیره شکل موج جریان های عبوری از رله در زمان رخداد خطا در شبکه بوده، ثبات وقایع برای ثبات آلارم های سیستمی و عملکرد واحدهای حفاظتی باشند.

توصیه می شود که در رله های جریانی بکاررفته در شبکه توزیع امکان استخراج تنظیمات رله بصورت یک فایل کامپیوتری از آن وجود داشته باشد. ضمناً توصیه می شود که امکان ارسال فایل ثبات خطا و مقادیر ثبات وقایع و تنظیم رله به مرکز کنترل (از طریق RTU) وجود داشته باشد.

ب. توصیه می شود شرکت های توزیع از ابزار نرم افزاری برای تحلیل عملکرد رله استفاده نمایند. یعنی پس از مراجعه به پست و قرائت شکل موج های مربوط به هر بار رخداد خطا در شبکه و همچنین پارامترهای تنظیم رله، اطلاعات زیر را در مورد کلیه حالتهایی که رله تریپ داده است، استخراج نمایند.

- مدت زمان عملکرد رله و مقایسه با زمان بدست آمده از روش تحلیلی به منظور تعیین میزان انحراف از مقدار مطلوب

- تعیین اختلاف زمانی بین صدور فرمان تریپ تا قطع جریان در هر سه فاز به منظور محاسبه مدت زمان عملکرد سایر اجزای سیستم حفاظتی (مجموع زمان عملکرد رله کمکی، مکانیزم فرمان کلید و قطع قوس در محفظه قطع کلید)

- تعیین اختلاف زمانی بین قطع جریان در سه فاز کلید

ج. در پست های اتوماسیون توصیه می شود فایل ثبات خطای رله به همراه تنظیمات موجود در رله در زمان تریگر شدن ثبات خطا بصورت خودکار به مرکز کنترل ارسال شود تا به کمک ابزار تحلیل خودکار، موارد بیان شده در بند ب بررسی شود. به این ترتیب اولاً برای تحلیل عملکرد رله نیاز به مراجعه حضوری به محل نصب رله (یا مازول حفاظتی رکلوزر یا قطع کننده هوایی) نیست. ثانیاً به محض رخداد خطا و عملکرد رله می توان وضعیت آن را بررسی کرده و در صورت وجود شرایط غیرعادی نسبت به انجام تست های تکمیلی اقدام کرد.

د. در صورتی که چند رله متوالی در شبکه توزیع استفاده شده و می توان به اطلاعات آنها از طریق سیستم اتوماسیون یا در صورت نیاز پس از مراجعه حضوری به محل، دست یافت، میتوان با مقایسه جریان های ثبت شده توسط آنها از اندازه گیری صحیح جریان توسط رله اطمینان حاصل کرد.

ه. بررسی آلام های ذخیره شده در ثبات وقایع رله می تواند بیانگر رخداد مشکلاتی برای رله یا سایر اجزای سیستم حفاظتی باشد. به عنوان نمونه توصیه می شود مواردی نظیر Start Up (یا Power On) و همچنین Restart رله را در حین بهره برداری یا در زمان رخداد خطا بررسی نمود. لازم به ذکر است که خاموش و روشن شدن رله در شرایط غیرقابل توجیه بیانگر وجود اشکال در تغذیه رله یا اشکال رله حفاظتی می باشد.

و. پس از تعیین محل رخداد خطا باید بررسی شود که آیا اولین رله پس از آن به درستی عمل کرده است. در غیر اینصورت یا اشکالی برای سیستم حفاظتی بوجود آمده یا تنظیم رله ها مناسب نبوده و هماهنگی بین آنها برقرار نیست.

۲-۸. روش مبتنی بر آزمون میدانی

الف. توصیه می شود از روش های زیر برای اطمینان از عملکرد سیستم حفاظتی بصورت میدانی استفاده شود. لازم به ذکر است که برای بررسی این موارد نیاز به بی برق کردن پست یا خروج رله از مدار نیست.

- اطمینان از سلامت رله و شارژر با بررسی روشن بودن آنها و روشن بودن چراغ چشمک زن Healthy
- قطع ورودی UPS یا شارژر و اطمینان نسبی از سلامت باتری در صورتی که اولاً رله حتی برای یک لحظه خاموش نشود و ثانياً ولتاژ دو سر باتری مقدار مطلوبی داشته و افت شدید ولتاژ در آن ایجاد نشده است.

- اتصال باتری از شارژر قطع می شود و حتی برای یک لحظه نباید رله ها خاموش شوند.
- در صورت امکان جریان عبوری از اولیه CT اندازه گیری شود (با کمک آمپر متر کلمپی در کابل فشار متوسط) و با جریان قرائت شده توسط رله مقایسه شود. در غیر اینصورت جریان عبوری از ثانویه CT اندازه گیری شده و بررسی فوق انجام می شود.

ب. در صورتی که امکان انجام روش ارزیابی مبتنی بر تحلیل ثبات خطا و وقایع وجود ندارد، توصیه می شود آزمون های زیر بر روی رله انجام شود :

- جریان ۰,۹ برابر مقدار تنظیم حد عملکرد واحد آنی (یا زمان ثابت) به هر یک از فازهای رله تزریق شود تا اطمینان حاصل شود که عملکرد نابجا ندارد. این کار برای واحد تشخیص خطای زمین نیز بصورت جداگانه انجام می شود.

- جریان ۱,۱ برابر مقدار تنظیم حد عملکرد واحد آنی (یا زمان ثابت) به یکی از فازها رله تزریق شده و زمان عملکرد رله ثبت می شود. این کار برای هر سه فاز و زمین بصورت مجزا انجام می شود.
- لازم است لااقل یک بار این آزمایش با صدور فرمان به کلید قدرت همراه باشد تا اطمینان حاصل شود که مدار تریپ نیز به درستی کار می کند.
- دقت شود که تنظیم توابع حفاظتی پس از پایان آزمایش به حالت اولیه باز گردد.

DRAFT

پیوست (الف) - تنظیم توابع حفاظتی رله دیجیتال بکاررفته در انشعاب فیدر فشار متوسط (R3)
 در صورت وجود رله حفاظتی در انشعاب، از رویه ای که در ادامه بیان می شود برای تنظیم آن استفاده شود.
 لازم به ذکر است که این رویه برای تنظیم رله R'3 نیز مورد استفاده قرار می گیرد.

الف-۱. تنظیم تابع جریان زیاد آنی (50)

تنظیم جریان حد عملکرد تابع جریان زیاد آنی بر اساس جدول (الف-۱) انجام می شود.

جدول (الف-۱) راهنمای نحوه تنظیم تابع جریان زیاد آنی (50) رله حفاظت انشعاب

۱. توصیه می شود که این تابع به ازای جریان بزرگتر از حداکثر مقدار جریان خطا در رله پایین دست (رله R2) عمل نماید تا هماهنگی حفاظتی بین آنها برقرار باشد.
$I_{Pickup}^1 \geq 1.2 \times I_{Fmax-R2}$
۲. لازم است این تابع به ازای بیشینه جریان اتصال کوتاه سه فاز در سمت فشار ضعیف بزرگترین ترانسفورماتور پایین دست عمل نکند.
$I_{Pickup}^2 \geq 1.2 \times \frac{I_{nTr-Largest}}{UK}$
۳. لازم است جریان حد عملکرد واحد آنی، حاشیه اطمینان مطلوب نسبت به حداکثر مقدار قابل تنظیم داشته باشد.
$I_{Pickup}^3 \leq 15 \times I_{pn}$
$I_{Pickup-50(R3)} = Min \left[I_{Pickup}^3, Max \left(I_{Pickup}^1, I_{Pickup}^2 \right) \right]$

* $I_{Fmax-R2}$ بیشترین دامنه جریان اتصال کوتاه در محل رله های پایین دست است.

** I_{pn} جریان نامی اولیه CT است.

تبصره ۱: چنانچه دو رله حفاظتی متوالی در طول فیدر استفاده شده است (رله های R'3 و R3) و امکان ایجاد تمایز در جریان حد عملکرد واحد آنی آنها وجود ندارد، می توان تابع جریان زیاد آنی رله بالادست (یعنی رله R'3) را غیر فعال کرد تا از گسترش خطا جلوگیری شود.

تبصره ۲: اگر مشکل تریپ نابجا به هنگام برقرار کردن فیدر ایجاد شود، می توان تاخیر نسبتا کمی برای تابع جریان زیاد آنی در نظر گرفت به نحوی که مجموع تاخیر ذاتی این تابع حفاظتی و تاخیر اضافی برابر با حدود ۴۰ میلی ثانیه شود.

الف-۲. تنظیم تابع جریان زیاد تاخیری (51)

الف-۲-۱. تنظیم جریان حد عملکرد

لازم است جریان حد عملکرد تابع جریان زیاد با مشخصه معکوس از نوع Very Inverse مطابق جدول (الف-۲) تنظیم شود.

جدول (الف-۲) روند تنظیم جریان حد عملکرد واحد اضافه جریان تاخیری فاز (51) رله حفاظت انشعاب

حالت (۲) در صورت وجود واحد اضافه بار ۱- لازم است جریان حد عملکرد کمتر از جریان مجاز حرارتی بلند مدت فیدر ($I_{th-line}$) در نظر گرفته شود. $I_{Pickup}^1 \leq 1.2 \times I_{th-line}$ ۲- لازم است جریان حد عملکرد کمتر از جریان حد حرارتی تجهیزات سری (به ویژه CT) باشد: $I_{Pickup}^2 \leq 1.2 \times I_{pn}$	حالت (۱) در صورت عدم وجود واحد اضافه بار ۱- لازم است جریان حد عملکرد کمتر از جریان مجاز حرارتی بلند مدت فیدر ($I_{th-line}$) در نظر گرفته شود. $I_{Pickup}^1 \leq I_{th-line}$ ۲- لازم است جریان حد عملکرد کمتر از جریان حد حرارتی تجهیزات سری (به ویژه CT) باشد: $I_{Pickup}^2 \leq I_{pn}$
$I_{Pickup-51(R_3)} = \min(I_{Pickup}^1, I_{Pickup}^2)$	

الف-۲-۲. تنظیم پارامتر TMS

پارامتر TMS واحد اضافه جریان تاخیری فاز رله حفاظت انشعاب مطابق جدول (الف-۳) تنظیم شود.

جدول (الف-۳) روند تنظیم پارامتر TMS واحد اضافه جریان تاخیری فاز (51) رله حفاظت انشعاب

۱- لازم است هماهنگی حفاظتی با تابع جریان زیاد آنی رله پایین دست (نظیر رله R2) به ازای جریان اتصال کوتاه در محل آن ($I_{TF-max-R2}$) برقرار باشد. برای این منظور زمان عملکرد آن به ازای حداکثر جریان خطای موثر، ۰,۱۲ ثانیه بیشتر از زمان عملکرد واحد آنی پایین دست (با فرض برابر با ۲۰ میلی ثانیه) در نظر گرفته می شود. $I_{TF-eff-R3} = \min(I_{TF-max-R2}, 20 \times I_{Pickup-51(R3)})$ $TMS_1 \geq \frac{0.14 \times \left[\left(\frac{I_{TF-eff-R3}}{I_{Pickup-51(R3)}} \right) - 1 \right]}{13.5}$ ۲- باید زمان عملکرد تابع ۵۱ رله R3 به اندازه $CTI=0.12s$ از زمان عملکرد تابع ۵۱ رله پایین دست (نظیر رله R2) به ازای جریان حد عملکرد واحد آنی رله R2 بیشتر باشد. $t_{op-51(R3)} = t_{op-51(R2)} \Big _{at I_{Pickup-50(R2)}} + 0.12$ $TMS_2 \geq \frac{t_{op-51(R3)} \times \left[\left(\frac{I_{Pickup-50(R2)}}{I_{Pickup-51(R3)}} \right) - 1 \right]}{13.5}$	تبصره (۱): در شرایط زیر ممکن است این تابع حفاظتی با عملکرد نابجا مواجه شود. - در صورتی که فیدر پربار باشد، نفوذ بارهای موتور در آن زیاد باشد و واحد قفل رله در برابر CLPU استفاده نشده باشد. در این حالت اگر جریان حد عملکرد کمتر از $1.75 \times I_{Load-max}$ باشد، ممکن است منجر به عملکرد نابجای رله شود.
$TMS \geq \max(TMS_1, TMS_2)$	

- در صورتی که تعداد زیادی ترانسفورماتور به انشعاب یا فیدر تحت حفاظت متصل باشد و رله R3 فاقد قفل در برابر جریان هجومی باشد.
- اگر برای مانور در شبکه از روش "وصل قبل از قطع" استفاده شود، ممکن است در حین بستن کلید و ایجاد حلقه در فیدر فشار متوسط، این تابع حفاظتی عمل نماید.
- ممکن است در شرایط FIDVR، این تابع حفاظتی با عملکرد ناخواسته مواجه شود.

در این حالت ها توصیه می شود که :

- جریان حد عملکرد این تابع حفاظتی افزایش نیابد.
- در صورت وجود تمایز زمانی کافی با رله بالادست، می توان پارامتر TMS را برای حفظ پایداری رله کمی افزایش داد. در غیر اینصورت با اقدامات اصلاحی مبتنی بر بهره برداری این مشکل برطرف شود.
- تبصره (۲): اگر چندین رله پایین دست وجود دارد، لازم است مقادیر TMS_1 و TMS_2 با در نظر گرفتن هر یک از رله های پایین دست بصورت مجزا محاسبه شود. سپس حداکثر مقدار TMS از بین کلیه حالت های مورد بررسی انتخاب شود.
- تبصره (۳): به دلیل بزرگ بودن دامنه جریان خطای سه فاز در شبکه فشار متوسط، عموماً هماهنگی حفاظتی با فیوزهای پایین دست برقرار نبوده و می توان از محاسبه مقادیر تنظیمی مربوط به توابع جریان زیاد در هماهنگی با فیوز صرف نظر نمود.

الف-۳. روش هماهنگی توابع حفاظتی خطای زمین انشعاب (R3) در شبکه های ۱۱ و ۲۰ کیلوولت

در شبکه های فشار متوسط ۱۱ و ۲۰ کیلوولت کشور، دامنه جریان خطای اتصال کوتاه فاز به زمین به نحوی محدود شده است که جریان عبوری از نوترال ترانسفورماتور زمین بیشتر از جریان نامی ترانسفورماتور قدرت پست فوق توزیع نشود. در این شرایط می توان تنظیم واحدهای خطای زمین را به نحوی انجام داد که هماهنگی حفاظتی با فیوزهای پایین دست نیز برقرار باشد.

الف-۳-۱. تنظیم واحد خطای زمین آنی (50N)

استفاده از واحد تشخیص خطای زمین آنی (51N) برای رله های حفاظتی مورد استفاده در طول فیدر فشار متوسط در شبکه با جریان خطای محدود شده ضرورتی ندارد، مگر آنکه رله R3 در یک پست توزیع زمینی به منظور حفاظت فیدر کابلی استفاده شود. در این حالت با هدف جلوگیری از گسترش خطای سرکابل داخل تابلوی فشار متوسط به خطای سه فاز، استفاده از تابع خطای زمین آنی توصیه می شود که برای این منظور از روند بیان شده در جدول (الف-۴) استفاده می شود.

جدول (الف-۴) تنظیم واحد 50N رله R3 در صورت بکارگیری آن در تابلوی فشار متوسط ۱۱ یا ۲۰ کیلوولت

۱- لازم است جریان حد عملکرد این تابع بزرگتر از جریان حد عملکرد تابع خطای زمین آبی رله پایین دست باشد.

$$I_{pickup-50N(R3)}^1 \geq 1.2 \times I_{pickup-50N(R2)}$$

۲- لازم است جریان حد عملکرد این تابع بیشتر از جریان اتصال کوتاه فاز به زمین در محل فیوزهای پایین دست باشد. در این رابطه، $IF_{LG@F2}$ معادل بیشترین جریان خطا (در محل نزدیکترین فیوز پایین دست که در اینجا با نماد F2 معرفی شده است) می باشد.

$$I_{pickup-50N(R3)}^2 \geq 1.2 \times IF_{LG@F2}$$

$$I_{pickup-50N(R3)} = \text{Max} \left(I_{pickup-50N(R3)}^1, I_{pickup-50N(R3)}^2 \right)$$

الف-۳-۲. تنظیم واحد خطای زمین تاخیری (51N)

توصیه می شود جهت تنظیم جریان حد عملکرد و پارامتر TMS واحد 51N رله R3 با مشخصه Very Inverse از روش بیان شده در جداول (الف-۵) و (الف-۶) استفاده شود. جدول (الف-۵) تنظیم جریان حد عملکرد تابع خطای زمین تاخیری (51N) حفاظت انشعاب در شبکه ۱۱ و ۲۰ کیلوولت

۱. اگر جریان مولفه صفر بر اساس جمع مدارای (اتصال Residually Connection) بدست آید، آنگاه:

$$I_{Pickup-51N(R_3)} = \text{Max} \left(0.1 \times K_{CLPU} \times I_{Load-max}, 0.07 \times I_{pn} \right)$$

۲. اگر جریان مولفه صفر بر اساس جمع ریاضی جریان سه فاز بدست آید (یعنی رله دارای سه ورودی جریانی باشد)، آنگاه:

$$I_{Pickup-51N(R_3)} = \text{Max} \left(0.17 \times K_{CLPU} \times I_{Load-max}, 0.07 \times I_{pn} \right)$$

۳. اگر جریان مولفه صفر به کمک ترانسفورماتور جریان تعادل جریان (Core Balance CT) بدست آید، آنگاه:

$$I_{Pickup-51N(R_3)} \geq \text{Max} \left(0.07 \times I_{nCT-CoreBalance}, 5A \right)$$

* I_{pn} جریان نامی اولیه CT است.

تبصره: اگر واحد CLPU فعال باشد $K_{CLPU} = 1.5$ و اگر غیر فعال باشد $K_{CLPU} = 2$ است.

جدول (الف-۶) تنظیم TMS تابع خطای زمین تاخیری (51N) حفاظت انشعاب در شبکه ۱۱ و ۲۰ کیلوولت

۱. توصیه می شود این تابع به ازای جریان اتصال کوتاه فاز به زمین در محل نصب فیوز پایین دست، تمایز زمانی به میزان $CTI=120 \text{ ms}$ نسبت به فیوز داشته باشد.

$$top_{51N(R3)}|_{@I_F} \geq MCT_{F2}|_{@I_F} + 0.12 \quad \text{for } I_F = IF_{LG@F2}$$

$$TMS_1 \geq \frac{t_{op-51N(R3)} \times \left[\left(\frac{I_F}{I_{Pickup-51N(R3)}} \right) - 1 \right]}{13.5}$$

که $IF_{LG@F2}$ حداکثر جریان خطای فاز به زمین در محل فیوز پایین دست می باشد.

۲. اگر در شبکه پایین دست از یک رله دیجیتال استفاده شده است لازم است به موارد زیر توجه شود؛ در غیر اینصورت TMS2 تا TMS4 برابر با صفر در نظر گرفته می شود.

اولا لازم است هماهنگی حفاظتی با واحد آنی رله پایین دست به ازای حداکثر جریان خطای موثر در محل رله پایین دست برقرار باشد.

$$I_{TF-eff-R3} = \min(I_{FLG@F2}, 20 \times I_{Pickup-51N(R3)})$$

$$t_{op-51N(R3)} = t_{op-50N(R2)} + 0.2$$

$$TMS_2 \geq \frac{t_{op-51N(R3)} \times \left[\left(\frac{I_{TF-eff-R3}}{I_{Pickup-51N(R3)}} \right) - 1 \right]}{13.5}$$

ثانیا لازم است هماهنگی حفاظتی با واحد تاخیری رله پایین دست به ازای جریان حد عملکرد واحد خطای زمین آنی رله پایین دست برقرار باشد.

$$t_{op-51N(R3)} = t_{op-51N(R2)} \Big|_{at I_{Pickup-50N(R2)}} + 0.2$$

$$TMS_3 \geq \frac{t_{op-51N(R3)} \times \left[\left(\frac{I_{Pickup-50N(R2)}}{I_{Pickup-51N(R3)}} \right) - 1 \right]}{13.5}$$

ثالثا در صورت عدم وجود واحد آنی در رله پایین دست، لازم است تمایز زمانی با واحد تاخیری آن به ازای جریان حد عملکرد واحد آنی رله R3 برقرار باشد. در غیر اینصورت TMS4=0 فرض می شود.

$$t_{op-51N(R3)} = t_{op-51N(R2)} \Big|_{at I_{Pickup-50N(R3)}} + 0.2$$

$$TMS_4 \geq \frac{t_{op-51N(R3)} \times \left[\left(\frac{I_{Pickup-50N(R3)}}{I_{Pickup-51N(R3)}} \right) - 1 \right]}{13.5}$$

$$TMS \geq \max(TMS_1, TMS_2, TMS_3, TMS_4)$$

تبصره (۱): در صورت بکارگیری رله R'3 بایستی قواعد فوق الذکر بین آن و رله پایین دست (یعنی رله R3) برقرار باشد.

تبصره (۲): بر اساس جدول (الف-۶) تمایز زمانی برابر با ۲۰۰ میلی ثانیه در نظر گرفته شده است که حداقل مقدار توصیه شده، می باشد. در صورتی که تمایز زمانی تا رله بالادست زیاد باشد، می توان بجای ۲۰۰ میلی ثانیه از مقدار بزرگتری استفاده کرد.

تبصره (۳) در صورتی که CT بکاررفته به همراه رله R3 مشخصات فنی پایینی داشته باشد، ممکن است واحد تاخیری تشخیص خطای زمین در اثر اشباع ناشی از مولفه DC جریان خطا به اشتباه تریپ دهد. در

این حالت توصیه می شود بجای افزایش I_{pickup} ، برای اینکه کاهش حساسیت رله ایجاد نشود، TMS کمی بزرگتر شود.

الف-۴. روش هماهنگی توابع حفاظتی خطای زمین انشعاب (R3) در شبکه ۳۳ کیلوولت

در شبکه فشار متوسط ۳۳ کیلوولت نوترال سمت فشار ضعیف ترانسفورماتورهای فوق توزیع به صورت مستقیم زمین شده است. بنابراین دامنه جریان اتصال کوتاه فاز به زمین تقریباً برابر با مقدار مربوط به خطای سه فاز است. با در نظر گرفتن این مساله، روش تنظیم توابع حفاظتی تشخیص خطای زمین در شبکه ۳۳ کیلوولت در ادامه بیان شده است.

الف-۴-۱. تنظیم واحد خطای زمین آنی (50N)

برای تنظیم تابع تشخیص خطای زمین آنی رله حفاظت انشعاب (R3) توصیه می شود از نکات مطرح شده در جدول زیر استفاده شود.

جدول (الف-۷) راهنمای نحوه تنظیم تابع خطای زمین آنی (50N) رله حفاظت انشعاب

۱. توصیه می شود که این تابع به ازای جریان بزرگتر از حداکثر مقدار جریان خطا در رله پایین دست (رله R2) عمل نماید تا هماهنگی حفاظتی بین آنها برقرار باشد.

$$I_{Pickup}^1 \geq 1.2 \times I_{Fmax-R2}$$

۲. توصیه می شود جریان حد عملکرد این تابع بیشتر از جریان اتصال کوتاه فاز به زمین در محل فیوزهای پایین دست باشد. در این رابطه، $IF_{LG@F2}$ معادل بیشترین جریان خطا در محل نزدیکترین فیوز پایین دست بکاررفته در طول فیدر است. توجه شود که این قید لازم الاجرا نیست و ممکن است رعایت نشود.

$$I_{pickup-50N(R3)}^2 \geq 1.2 \times IF_{LG@F2}$$

۳. لازم است جریان حد عملکرد واحد آنی، حاشیه اطمینان مطلوب نسبت به حداکثر مقدار قابل تنظیم داشته باشد. با فرض اینکه حداکثر مقدار قابل تنظیم واحد تشخیص خطای زمین برابر با I_{PMax} باشد (بر حسب پریونیت در مبنای جریان نامی ثانویه CT)، توصیه می شود برای افزایش سرعت عملکرد و رعایت حاشیه اطمینان از رابطه زیر استفاده شود.

$$I_{Pickup}^3 \leq 0.8 \times I_{PMax} \times I_{pn}$$

$$I_{Pickup-50(R3)} = \text{Min} \left[I_{Pickup}^3, \text{Max} \left(I_{Pickup}^1, I_{Pickup}^2 \right) \right]$$

تبصره (۱): چنانچه دو رله حفاظتی متوالی در طول فیدر استفاده شده است (رله های R'3 و R3) و امکان ایجاد تمایز مناسب در جریان حد عملکرد واحد آنی آنها وجود ندارد، می توان تابع جریان زیاد آنی رله بالادست (یعنی رله R'3) را غیر فعال کرد تا از گسترش خطا جلوگیری شود.

تبصره (۲): اگر مشکل تریپ نابجا به هنگام برقرار کردن فیدر ایجاد شود، می توان تاخیر نسبتاً کمی برای تابع جریان زیاد آنی در نظر گرفت به نحوی که مجموع تاخیر ذاتی این تابع حفاظتی و تاخیر اضافی برابر با حدود ۴۰ میلی ثانیه شود.

الف-۴-۲. تنظیم واحد خطای زمین تاخیری (51N)

توصیه می شود جهت تنظیم جریان حد عملکرد و پارامتر TMS واحد 51N رله R3 با مشخصه Very Inverse از همان روش بیان شده در جداول (الف-۵) و (الف-۶) به همراه تبصره های مربوطه استفاده شود. البته توصیه می شود که در جدول (الف-۵)، در صورت استفاده از CT تعادل شار، از رابطه زیر برای محاسبه جریان حد عملکرد این تابع حفاظتی استفاده شود.

$$I_{Pickup-51N(R_3)} \geq \text{Max}(0.07 \times I_{nCT-CoreBalance}, 10 A)$$

الف-۵. تعیین جریان نامی و مشخصه عملکرد فیوز حفاظت انشعاب

در صورت استفاده از فیوز برای حفاظت انشعاب، توصیه می شود که جریان نامی و مشخصه عملکرد آن بر اساس روش بیان شده در جدول (الف-۸) انتخاب گردد.

جدول (الف-۸) روند انتخاب فیوز انشعاب

۱. توصیه می شود که فیوز انشعاب از نوع کندسوز باشد.
 ۲. لازم است جریان نامی لینک فیوز مطابق رابطه زیر بزرگتر از جریان بار بیشینه فیدر انتخاب شود تا در شرایط دینامیکی ناشی از رفتار موتورهای عملکرد نابه جا نداشته باشد.
 ۳. برای اینکه فیوز در شرایط جریان هجومی ترانسفورماتورهای پایین دست، عملکرد نابه جا نداشته باشد؛ توصیه می شود که رابطه زیر برقرار باشد.
- $$I_{n fuse} \geq 1.7 \times I_{Load-max}$$
- $$0.75 \times MMT_{@I_{inrush}} > 0.1$$
- که I_{inrush} معرف دامنه جریان هجومی ترانسفورماتورهای پایین دست است که برابر مجموع جریان هجومی ترانسفورماتورهای نصب شده در تکه فیدر تحت حفاظت می باشد. توصیه می شود این جریان در ترانسفورماتورهای روغنی و خشک سه فاز متداول به ترتیب، ۱۲ و ۱۸ برابر جریان نامی ترانسفورماتور در نظر گرفته شود.
۴. لازم است فیوز در شرایط راه اندازی سرد به ازای منحنی MMT عملکرد نابه جا نداشته باشد. برای بررسی این نیازمندی، توصیه می شود دامنه جریان ناشی از پدیده CLPU و مدت زمان آن برابر مقادیر ذیل در نظر گرفته شود.
- ۶ برابر جریان حداکثر بار به مدت ۱ ثانیه،
 - ۳ برابر جریان حداکثر بار به مدت ۱۰ ثانیه.
۵. توصیه می شود تا حد امکان فیوز نصب شده در فیدر با سایر فیوزهای پایین دست هماهنگ باشد. برای این منظور توصیه می شود که تمایز زمانی ۵۰ میلی ثانیه بر اساس رابطه زیر به ازای جریان خطای فاز به زمین در محل فیوز پایین دست (که با IF_{LG-F2} بیان شده است) برقرار باشد.
- $$0.75 \times MMT_{F_3 @ I_{LG-F2}} > MCT_{F_2 @ I_{LG-F2}} + 0.05$$