

## استفاده از قابلیت تنظیم مرحله ای رله های دیجیتال به منظور ارتقاء سیستم های حفاظتی و جلوگیری از گسترش حوادث و کاهش خاموشی

جواد رخشى<sup>۱</sup>، فهیمه طاهریان<sup>۲</sup>، غلامرضا اساسه<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> شرکت برق منطقه ای سمنان، کارشناس بهره برداری، javad\_rakhshi@yahoo.com

<sup>۲</sup> شرکت برق منطقه ای سمنان، مدیر دفتر فنی انتقال، ftaherian@semrec.co.ir

<sup>۳</sup> شرکت برق منطقه ای سمنان، معاون بهره برداری، asaseh@semrec.co.ir

### چکیده

ماهیت و گستردگی سیستم های قدرت، بروز حوادث مختلف را در حین بهره برداری که منجر به خروج خودکار تجهیزات و گاه وقوع خاموشی می گردد، امری اجتناب ناپذیر می سازد. لیکن عملکرد سیستم های حفاظتی و بهره برداران شبکه می بایست به گونه ای باشد که مانع گسترش حوادث شده و تبعات و آثار سوء آن را تا حد امکان محدود سازد. در حال حاضر هماهنگی حفاظتی بین رله‌ها در پستهای فوق توزیع بر اساس دستورالعمل نحوه محاسبه تنظیم رله های حفاظتی بخش فوق توزیع و با انجام یک سری محاسبات انجام می‌شود. ضمن اینکه این محاسبات و مطالعات از دقت بالایی برخوردار است، اما گاهی برخی از حالت‌های خاص را پوشش نمی دهند. در مقاله پیشرو ضمن بررسی یک حادثه واقعی گسترش یافته در یکی از پستهای فوق توزیع به ارائه راهکارها و تنظیمات اصلاحی با استفاده از قابلیت تنظیم گذاری مرحله ای رله های دیجیتالی پرداخته ایم.

### کلمات کلیدی

خروج خودکار، خاموشی، گسترش حادثه، هماهنگی حفاظتی، رله های دیجیتال

اهمیت وجود هماهنگی حفاظتی دقیق و پیش بینی شرایط خاص جهت جلوگیری از گسترش حادثه و خاموشی را دو چندان می کند.

### ۱- مقدمه

با توجه به اجرای طرح اتوماسیون و بدون اپراتور کردن پستهای فوق توزیع در کشور برق منطقه‌ای سمنان نیز بعنوان یکی از شرکت‌های پیشرو در این حوزه اقدام به اجرای اتوماسیون و بدون اپراتور نمودن تعدادی از پستهای فوق توزیع خود و کنترل آنها از طریق مرکز کنترل محلی نمود. اجرای اتوماسیون در پست‌ها امکان دسترسی سریع محلی و از راه دور به اطلاعات تجهیزات موجود در پست‌ها، پردازش دقیق این داده‌ها، آنالیز سریع پست و مدیریت شبکه و صدور فرامین لازم جهت عملکرد صحیح تجهیزات را فراهم می‌آورد [۲]. از طرفی بعد مسافت و عدم امکان دسترسی و حضور بموقع تیم واکنش سریع در پستهای بدون اپراتور،

### ۲- پست مورد مطالعه

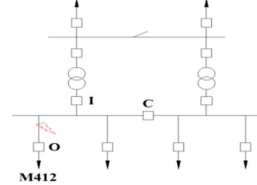
پست ۶۳/۲۰ فوق توزیع مورد مطالعه یکی از پستهای با طول عمر بالا دارای تجهیزات حفاظتی و کنترلی قدیمی با طرح H می‌باشد که با انجام بهینه سازی‌های مختلف از جمله بهینه‌سازی حفاظت و کنترل آن و نصب رله های دیجیتالی و برقراری سیگنال لیست پست‌های بدون اپراتور بصورت صورت UNMANNED بهره برداری می‌شده است. پست‌های با آرایش طرح H (مطابق شکل (۱)) شامل دو خط ورودی، دو ترانسفورماتور و دو گروه فیدر خروجی است که از طریق دو باسبار مجزا که قابلیت اتصال با یک کلید باسکوپلر را دارند مصرف کننده‌های خود را تغذیه می-

رله‌های بالا دستی خود حدود ۳۰۰ میلی ثانیه اختلاف زمانی خواهد داشت [۱]. در مجموع تنظیم زمانی رله فیدر فشار متوسط ورودی ترانسفورماتور (I)، به صورتی خواهد بود که زمان عملکرد آن به ازای خطای ابتدای فیدر خروجی (O)، در شدیدترین اتصالی‌های رخ داده حداقل ۶۰۰ میلی ثانیه می‌گردد و با توجه به افزایش این زمان در صورت کمتر بودن شدت جریان خطا (وقوع اتصالی امپدانس بالا) بدلیل استفاده از منحنی‌های عملکردی جریان-زمان معکوس، این زمان تا چندین ثانیه هم افزایش پیدا می‌کند. در یک پست فوق توزیع با ۲ ترانسفورماتور ۳۰ مگاوات آمپر (پست مورد مطالعه) تنظیم جریانی رله ارت‌فالت فیدر خروجی مطابق دستورالعمل نحوه محاسبه تنظیم رله‌های حفاظتی بخش فوق توزیع، در حدود ۳۰ تا ۴۰ آمپر و تنظیم جریانی رله‌های ارت‌فالت باسکوپلر و فیدرهای ورودی ترانسفورماتور در حدود ۱۰۰ آمپر می‌باشد و تنظیم جریانی رله ارت‌فالت حساس (SEF) در حدود ۴۰ آمپر می‌باشد [۱]. بر اساس این دستورالعمل به ازای خطای ارت‌فالت با جریان کم (امپدانس بالا) در فیدرهای خروجی (با جریانی حدود ۸۰ آمپر) و عدم عملکرد رله فیدر خروجی یا عدم قطع کلید فیدر مذکور، به دلیل اشکالات مکانیکی یا مدارات قطع، رله‌های ارت‌فالت کوپلاژ و هر دو فیدر ترانسفورماتور نیز با توجه به جریان عبوری و تنظیم شده از آنها عملکرد نخواهند داشت و عملکرد همزمان حفاظت SEF هر دو ترانسفورماتور باعث بی‌برقی کامل و خاموشی وسیعی در شبکه توزیع خواهد شد. همانگونه که مشاهده می‌شود با توجه به اینکه دستورالعمل نحوه ستینگ-گذاری به صورت عمومی تدوین شده است، این حالت خاص (حادثه مورد مطالعه) را پوشش نداده و عملاً با وجود این نوع اتصال خاص، هر دو ترانسفورماتور از مدار خارج خواهد شد. لذا نیازمند انجام اصلاحات برای عدم وقوع این حالت‌های خاص در سیستم‌های حفاظتی می‌باشد. با توجه به قابلیت‌های زیاد رله‌های دیجیتال می‌توان به جای اقدامات اصلاحی فوق‌الذکر که گسترش حادثه و اعمال خاموشی بی‌مورد را به دنبال خواهد داشت از روشهای جایگزین نظیر هماهنگی منطقی استفاده نمود. که این امر در دستورالعمل نحوه محاسبه تنظیمات رله‌های حفاظتی بخش فوق‌توزیع توانیر مورد توجه قرار نگرفته است، که تبعات آن خصوصاً در پست‌های بدون اپراتور می‌تواند بسیار گسترده باشد که در ادامه طی بررسی یک مورد حادثه به آن پرداخته شده است.

### ۲-۳- شرح حادثه

پست نرمال، ترانسفورماتورها پارالل و پست به صورت بدون اپراتور بهره‌برداری می‌شده است. با وقوع اتصالی (ارت‌فالت امپدانس بالا فاز BN) با جریان حدود ۸۰ آمپر بر روی فیدر (M412) و عدم قطع بریکر فیدر مذکور بدلیل اشکالات مکانیکی در مکانیزم قطع بریکر سبب گسترش

نمایند. در این آرایش باسبارهای اولیه می‌توانند از طریق کلید یا سکسیونر به یکدیگر متصل گردند و در اغلب برق‌های منطقه‌ای کشور پست‌های فوق توزیع با این آرایش احداث و مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند.



شکل (۱): آرایش پست مورد مطالعه

### ۲-۱- طرح حفاظتی جریانی سمت LV پستهای فوق توزیع با آرایش طرح H

به هر میزان که طرح حفاظتی کاملتر باشد قابلیت اطمینان سیستم افزایش و از نظر اقتصادی پرهزینه تر خواهد بود. [۳] در یک پست فوق توزیع با آرایش طرح H موجود حفاظت‌های جریانی سمت LV بصورت زیر پیش بینی و در صورت عدم عملکرد هر مرحله، رله مرحله بعد به عنوان حفاظت پشتیبان، باعث قطع خطا می‌گردد:

- ۱) رله جریان زیاد و اتصال زمین فیدر خروجی (OC/EF)
- ۲) رله جریان زیاد و اتصال زمین باسکوپلر (OC/EF)
- ۳) رله جریان زیاد و اتصال زمین ورودی ترانسفورماتور (OC/EF)
- ۴) رله اتصال زمین حساس فیدر ترانسفورماتور (SEF)

### ۲-۲- هماهنگی حفاظتی جریانی ارت‌فالت سمت LV پستهای فوق توزیع با آرایش طرح H

همانطور که در شکل (۱) دیده می‌شود، خروجی ترانسفورماتورها در آرایش طرح H به یک باسبار ساده جدا شونده با کلید متصل است. کلید واسط در بهره‌برداری عادی ممکن است بسته یا باز باشد، (با توجه به شرایط بهره‌برداری شبکه، اکثراً این کلید برای افزایش قابلیت اطمینان بسته می‌باشد). حفاظت اصلی فیدرهای فشار متوسط این پست‌ها بر مبنای رله‌های جریان زیاد و ارت‌فالت است که بر روی فیدر ورودی ترانسفورماتور قدرت (I)، کلید کوپلاژ (C) و فیدرهای خروجی (O) نصب می‌شود. لازم به ذکر است در این مقاله تنها خطاهای ارت‌فالت مورد بررسی قرار می‌گیرد.

تنها روش متداولی که در حال حاضر برای ایجاد هماهنگی حفاظتی بین رله‌های ارت‌فالت بکار برده می‌شود تنظیم جریان رله بر مبنای درصدی از جریان نامی تجهیز و سپس ایجاد تمایز زمانی است [۱]. بدین صورت که به ازای اتصال کوتاه ارت‌فالت در ابتدای فیدر خروجی، هر رله ارت‌فالت با

در حوادث مشابه که منجر به قطع کامل پست و از دست دادن تغذیه داخلی پستها می‌گردد، برای جلوگیری از طولانی شدن زمان برقداری و در پست‌های بدون اپراتور (با توجه به نیاز به حضور گروه‌های اقدام سریع و زمان برقدار شدن آن)، در این راستا تنظیمات رله‌های ارت فالت GT نیز با توجه به قابلیت رله‌های دیجیتال (امکان تنظیم مرحله‌ای حفاظت EF تاخیری) به دو مرحله تغییر پیدا کرد به این صورت که مرحله اول به بریکر LV ترانسفورماتور تریپ می‌دهد تا تغذیه داخلی از مدار خارج نشود و مرحله دوم در صورت ماندگاری خطا بعد از باز شدن بریکر LV با تاخیر زمانی به بریکر HV ترانسفورماتور فرمان تریپ خواهد داد. استفاده از امکان تنظیم مرحله‌ای حفاظت EF در رله باسکوپلر نیز می‌تواند استفاده شود و یک مرحله با تنظیم جریان پایین‌تر و هماهنگ با رله SEF ترانسفورماتور تنظیم شود و یک مرحله با تنظیم بالاتر و هماهنگ با حفاظت EF فیدر ورودی ترانسفورماتور تنظیم شود.

#### ۴- نتیجه‌گیری

با توجه به اینکه دستورالعمل نحوه محاسبه تنظیم رله‌های حفاظتی بخش فوق توزیع به صورت عمومی تدوین شده و حالات خاص را پوشش نمی‌دهد و از طرفی تنها حفاظت پیش‌بینی شده در پست‌های فوق توزیع برای فیدرهای خروجی، فیدر کوپلاژ و فیدرهای ورودی ترانسفورماتورهای قدرت حفاظت جریان زیاد و اتصال زمین می‌باشد استفاده از قابلیت تنظیم گذاری مرحله‌ای رله‌های دیجیتالی می‌تواند بخش از این حالات خاص را پوشش داده [۴] و از گسترش حوادث و افزایش زمان خاموشی‌ها و تبعات اجتماعی آن، علی‌الخصوص در پست‌های بدون اپراتور جلوگیری نماید. در این مقاله ضمن بررسی روش‌های متداول هماهنگی حفاظتی و بیان نقاط ضعف عملکردی آن در موارد خاص، راهکارهایی با استفاده از قابلیت تنظیم گذاری مرحله‌ای رله‌های دیجیتالی بمنظور کاهش زمان رفع خطا بدون افزایش محدوده قطع شده توسط سیستم‌های حفاظتی ارائه گردیده است.

#### مراجع

- [۱] توانیر، دستورالعمل نحوه محاسبه تنظیم رله‌های حفاظتی بخش فوق توزیع.
- [2] Henri g. Hues if, Abdul-Aziz AL sultan, *Substation Automation Implementation – The Sec Rodmap*.
- [3] GEC Measurement, "Protective Relay Application Guid", the General Electric Company, England, 2023.
- [4] Wilfredo C. Flores, Enrique Mombello, José A. Jardinic, Giuseppe Ratt, "Fuzzy risk index for power transformer failures due to external short-circuits ", Elsevier, Electric

حادثه و عملکرد رله‌های SEF ترانسفورماتورهای ۱ و ۲ و بی برق شدن پست گردید.

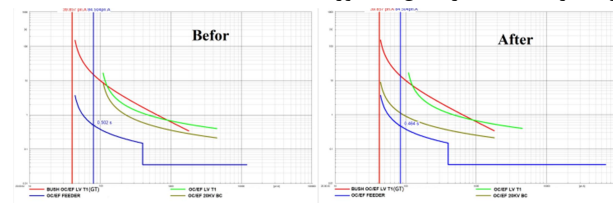
جریان عبوری از رله‌های EF باسکوپلر و ورودی ترانسفورماتورها در این حادثه حدود ۴۰ آمپر بوده است که با توجه به تنظیم ۱۰۰ آمپری موجود مطابق دستورالعمل، رله‌های ارت فالت مذکور استارت نشده و عملکرد نداشته‌اند. بنابراین با تحریک رله‌های SEF ترانسفورماتورها با جریان ۴۰ آمپری موجود بعد حدود ۱۲ ثانیه هر دو ترانسفورماتور بی برق شده‌اند.

با توجه به بدون اپراتور بودن و عدم امکان تغییر از راه دور تپ ترانسفورماتورها به دلیل قطع تغذیه داخلی پست عملیات برقدار نمودن با تاخیر زمانی زیادی انجام شد که این امر تبعات اجتماعی زیادی به دنبال داشت.

#### ۳- راهکارها و اقدامات اصلاحی

از جمله راهکارهای اصلاحی، برقراری مدارات CBF برای فیدرهای خروجی در صورت عدم عملکرد کلید با ارسال سیگنال برای بریکرهای باسکوپلر و LV ترانسفورماتور مربوطه می‌باشد که در پست مذکور به دلیل عدم وجود رله‌های مجهز به فانکشن CBF و همچنین پیچیدگی اجرای مدارات در سطح ۲۰ کیلوولت این گزینه حفاظتی در پست مذکور، گزینه مناسبی نخواهد بود.

لذا اقدام اصلاحی انجام شده اصلاح تنظیمات رله مربوط به باسکوپلر جهت عملکرد زودتر در هنگام خطای امپدانس بالا بود (که این امر در دستورالعمل نحوه محاسبه تنظیم رله‌های حفاظتی بخش فوق توزیع مغفول مانده است) به این ترتیب که حفاظت باسکوپلر با حفاظت ارت فالت فیدر خروجی و SEF فیدر ترانس، از نظر جریانی هماهنگ گردید و تنظیم جریانی آن به حدود ۴۰ آمپر کاهش یافت و این تغییر در کلیه پست‌های فوق توزیع استان اجرا شد که منحنی هماهنگی رله‌ها قبل و بعد از تغییر تنظیمات در شکل (۲) آورده شده است.



شکل (۲) : منحنی هماهنگی رله‌ها قبل و بعد از تغییر تنظیمات

لازم به ذکر است تنظیم جریانی پیشنهاد شده جهت رله حفاظت باسکوپلر با در نظر گرفتن مواردی نظیر عدم عملکرد در شرایط عادی بهره برداری ناشی از وجود عدم تعادل جزئی بین بار در فازهای مختلف ارائه شده است و تداخلی با بهره برداری از پست ایجاد نمی‌نماید.