ضرورت تجهیز حداقل یکی از رله‌های دیستانس خطوط انتقال به واحد قفل در مقابل ناحیه‌ی بار (Load Encrochment)

محمد رضانژاد سراجی[۱]، پیمان متانی[۲]، مسیح فهیمی[۳]، کامران داودی[۴]

[۱] کارشناس مطالعات جامع شبکه، شرکت برق منطقه‌ای مازندران و گلستان، ساری، mrezanejad@mazrec.co.ir

[۲] کارشناس حفاظت و کنترل، شرکت برق منطقه‌ای مازندران و گلستان، ساری، pmatani@mazrec.co.ir

[۳] رئیس گروه حفاظت و کنترل، شرکت برق منطقه‌ای مازندران و گلستان، ساری، mfahimi@mazrec.co.ir

[۴] کارشناس مطالعات جامع شبکه، شرکت برق منطقه‌ای مازندران و گلستان، ساری، kdavoudi@mazrec.co.ir

چکیده

در خطوط پربار، امکان ورود امپدانس بار به مشخصه‌ی رله‌های دیستانس و در نتیجه صدور فرمان تریپ کاذب وجود داشته که راه جلوگیری از آن، در نظر گرفتن مشخصه‌ی بار در رله‌های دیستانس است. در مواردی که به دلیل محدودیت رله، امکان در نظر گرفتن مشخصه‌ی بار در رله‌ی دیستانس وجود ندارد، تنظیم مقاومتی زون‌ها با توجه به حداقل مقدار مقاومت بار محدود می‌شود. مهمترین چالش محدود کردن تنظیم مقاومتی زون‌ها، امکان عدم تشخیص خطاهای با مقاومت بالا و در نتیجه پاکسازی جریان خطا در مدت زمان طولانی‌تر است. از طرف دیگر این امکان نیز وجود دارد که خطای مقاومتی خط پیش‌رو در ایستگاه مبدأ به دلیل محدودیت تنظیم مقاومتی زون‌ها تشخیص داده نشده و همزمان رله‌های دیستانس خطوط پشت‌سر که مجهز به واحد قفل بار (و در نتیجه تنظیم مقاومتی بالاتری) هستند این خطا را تشخیص داده و فرمان تریپ صادر کنند که این مورد بیانگر گسترش حادثه در شبکه‌ی انتقال می‌باشد. در این مقاله به اهمیت وجود واحد قفل بار در جهت جلوگیری از گسترش حادثه در زمان وقوع خطای مقاومت بالا پرداخته شده است.

کلمات کلیدی

خطای مقاومتی، قفل بار، رله‌ی دیستانس، گسترش حادثه

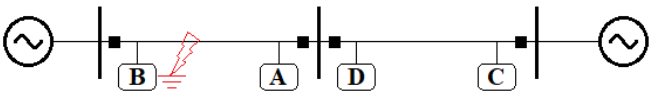
۱- مقدمه

در خطوط پربار، امکان ورود امپدانس بار به مشخصه‌ی رله‌های دیستانس و در نتیجه صدور فرمان تریپ کاذب وجود دارد. برای جلوگیری از صدور فرمان تریپ ناخواسته‌ی رله‌های دیستانس در چنین مواردی، در نظر گرفتن مشخصه‌ی بار در رله‌های دیستانس ضروری است. مشخصه‌ی بار در جهت محور مقاومت اهمی تعریف شده و در رله‌های مختلف می‌تواند برای حلقه‌های فاز به فاز و فاز به زمین به صورت مجزا تعیین گردد. معیار تأثیرگذار بر تعیین میزان مقاومت بار، درنظر گرفتن حداقل مقاومت مورد انتظار برای بار می‌باشد. حداقل مقاومت بار به منزله‌ی عبور بیشترین جریان ممکن از خط تحت شرایط حداقل ولتاژ بهره‌برداری است [۱].

۲- چالش عدم وجود مشخصه‌ی بار

همان‌طور که در بند ۲-۱-۲-ت ویرایش ششم نظامنامه‌ی سیستم رله و حفاظت شبکه‌ی انتقال برق ایران [۲] آمده است، رله‌های دیستانس باید دارای واحد قفل بار باشند. مطابق مواردی که در بخش مقدمه به آن‌ها اشاره شد، وجود این واحد می‌تواند در تشخیص بهتر خطاهای مقاومتی (به دلیل تنظیم مقاومتی بالاتر زون‌های حفاظتی) مؤثر بوده و در عین حال

می‌تواند از صدور فرمان تریپ کاذب در اثر ورود امپدانس بار به محدوده‌ی مشخصه‌ی زون‌های حفاظتی رله‌ی دیستانس جلوگیری نماید. بنابراین عدم وجود واحد قفل بار در رله‌های دیستانس، امکان عدم تشخیص خطاهای مقاومتی را افزایش می‌دهد. به این دلیل که این رله‌ها از تنظیم مقاومتی کمتری برخوردار بوده و افزایش مقاومت خطا از یک حد مشخص، موجب قرارگیری امپدانس خطا در بیرون از مشخصه‌ی زون‌های حفاظتی و در نتیجه عدم تشخیص خطا توسط رله‌ی دیستانس می‌شود. همچنین چالش دیگر در خصوص عدم وجود واحد قفل بار در رله‌های دیستانس، امکان تشخیص خطاهای مقاومتی توسط خطوط پشت‌سر قبل از ورود امپدانس خطا در محدوده‌ی مشخصه‌ی زون‌های حفاظتی رله‌ی دیستانس خط حادثه‌دیده است. به این معنی که اگر در شکل (۱)، دو رله‌ی دیستانس پشت‌سر هم در شبکه‌ی انتقال طوری به‌کارگیری شوند که رله‌ی A فاقد واحد قفل در مقابل ناحیه‌ی بار و رله‌ی C دارای واحد قفل بار باشد، ممکن است در اثر وقوع خطای مقاومت بالا در خط A-B، رله‌ی A (که در این حادثه به عنوان رله‌ی اصلی به شمار می‌رود) به دلیل تنظیم مقاومتی پایین، خطا را تشخیص نداده و یا در زون‌های بالاتر تشخص دهد و همزمان رله‌ی C به دلیل تنظیم مقاومتی بالاتر نسبت به رله‌ی A، این خطا را در زون پایین‌تر تشخیص داده و فرمان تریپ صادر کند. این مورد با یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های سیستم‌های حفاظتی یعنی هماهنگی رله‌های حفاظتی مغایرت دارد.



شکل (۱) : شبکه‌ی نمونه در خطای مقاومتی

۲-۱- بررسی حادثه‌ی واقعی

در این قسمت به بررسی یک حادثه‌ی واقعی در شبکه‌ی انتقال پرداخته شده که عدم وجود واحد قفل بار در دو رله‌ی دیستانس اولیه و ثانویه‌ی یکی از خطوط انتقال، موجب گسترش حادثه و قطع بی‌مورد یکی دیگر از خطوط انتقال شبکه شده است. حادثه به این صورت بوده که در اثر وقوع خطای تک‌فاز به زمین در خط L1، رله‌های دیستانس ایستگاه S با عملکرد زون۱، فاز C به زمین و کیلومتر ۱۱۲/۴ و رله‌های دیستانس ایستگاه P با عملکرد مشابه و کیلومتر ۸۵ فرمان تریپ صادر کردند. همزمان با این حادثه، خط L2 نیز در ایستگاه G با عملکرد رله‌ی دیستانس اولیه، زون۳ و فاز C به زمین فرمان تریپ صادر کرده است. لازم به ذکر است رله‌های خط L1 در ایستگاه S فاقد قابلیت قفل بار و رله‌ی اولیه‌ی خط L2 در ایستگاه G دارای قابلیت قفل بار بوده است. تنظیمات مقاومتی خط L1 در ایستگاه S و خط L2 در ایستگاه G در جداول ۱ و ۲ آورده شده است:

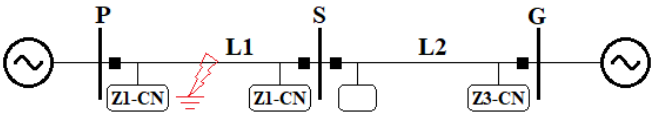
جدول (۱) : تنظیمات مقاومتی خط L1 در ایستگاه S

پارامتر تنظیمی	رله‌ی اولیه (Ω) REL521	رله‌ی ثانویه (Ω) REL511
R1	۲۵	۲۵
R2	۲۷/۳	۲۷/۳
R3	۳۴/۲	۳۴/۲

جدول (۲) : تنظیمات مقاومتی خط L2 در ایستگاه G

پارامتر تنظیمی	رله‌ی اولیه (Ω) 7SA522	رله‌ی ثانویه (Ω) P442
R1	۲۵	۲۵
R2	۵۴/۸	۲۵
R3	۶۹/۸	۲۹/۹

نقشه‌ی تک‌خطی شبکه‌ی حادثه دیده در شکل (۲) نشان داده شده است.



شکل (۲) : نقشه‌ی تک‌خطی شبکه‌ی حادثه دیده

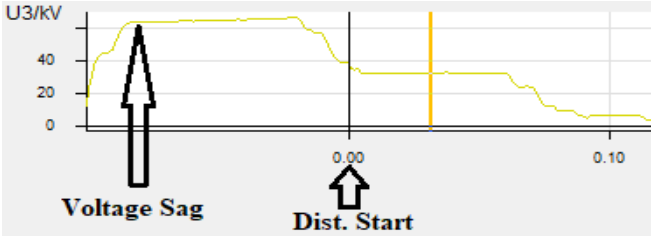
ابتدا به نظر می‌رسد عملکرد رله‌ی دیستانس خط L2 در ایستگاه G اشتباه بوده است. از طرفی این نتیجه را نیز می‌توان برداشت کرد که شاید تأخیر در صدور فرمان تریپ توسط رله‌های خط L1 و یا لختی بریکر این خط در ایستگاه S موجب ماندگاری خطا و به تبع آن عملکرد رله‌ی خط L2 در ایستگاه G شده است. اما با توجه به موارد ثبت شده در رله‌های دیستانس ایستگاه S که در شکل ۳ نشان داده شده است، مشخص می‌شود که فرمان تریپ به صورت آنی پس از استارت زون۱ صادر شده و بریکر نیز در مدت زمان کمتر از ۵۰ میلی‌ثانیه باز شده است.

#	Name	Time	Status
01	GFC-STFWL3	10.45;05.254	On
02	GFC-STFWPE	10.45;05.254	On
03	ZM2-START	10.45;05.264	On
04	ZM3-START	10.45;05.264	On
05	ZCOM-CS	10.45;05.285	On
06	TR01-TRIP	10.45;05.285	On
07	TR01-TRL1	10.45;05.285	On
08	TR01-TRL2	10.45;05.285	On
09	TR01-TRL3	10.45;05.285	On
10	ZM1-TRIP	10.45;05.285	On
11	ZM1-START	10.45;05.285	On
12	SOTF_BC==0023	10.45;05.314	On
13	FUSE-VTSZ	10.45;05.334	On
14	ZM2-START	10.45;05.334	Off
15	ZM3-START	10.45;05.334	Off
16	FUSE-VTSZ	10.45;05.344	Off
17	GFC-STFWL3	10.45;05.344	Off
18	GFC-STFWPE	10.45;05.344	Off
19	ZM1-TRIP	10.45;05.344	Off
20	ZM1-START	10.45;05.344	Off

شکل (۳) : ثبات رله‌ی خط L1 در ایستگاه S

بنابراین عملکرد رله‌ی خط L1 در ایستگاه S پس از استارت زون۱ به صورت آنی بوده است. از طرفی بر اساس اطلاعات ثبت شده در رله‌ی خط L1 در ایستگاه S مشاهده می‌شود که خطا پس از وقوع با یک تأخیر

زمانی وارد زون‌های بالای رله‌ی دیستانس و سپس وارد زون۱ رله شده که به محض ورود به زون۱، فرمان تریپ صادر می‌شود. همچنین مطابق شکل موج ولتاژ ثبت شده توسط رله‌ی دیستانس خط L1 در ایستگاه S مشخص می‌شود که خطا مدتی در محدوده‌ی خارج از زون‌های رله‌ی دیستانس خط L1 در ایستگاه S قرار داشته و سپس وارد زون‌های حفاظتی شده است. دلیل این ادعا هم افت ولتاژ فاز C خط L1 قبل از استارت فانکشن دیستانس بوده که این موضوع در شکل ۴ نشان داده شده است.



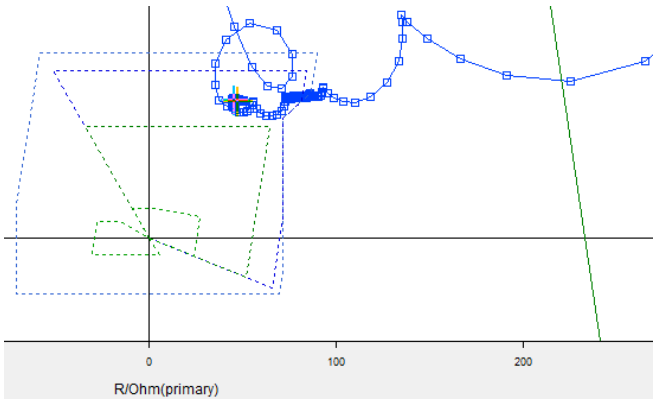
شکل (۴) : افت ولتاژ فاز C خط L1 قبل از استارت رله دیستانس

با توجه به موارد گفته شده مشخص است که خطا به صورت آنی وارد زون۱ رله‌ی دیستانس خط L1 در ایستگاه S نشده و با یک تأخیر همراه بوده است. اما در خصوص این که میزان واقعی این تأخیر چه مقدار بوده (که به زمان عملکرد رله‌ی خط L2 در ایستگاه G رسیده) لازم است تا ثبات رله‌ی دیستانس خط L2 در ایستگاه G نیز مورد بررسی قرار گیرد. طبق بررسی فایل ثبات رله‌ی دیستانس اولیه‌ی خط L2 مشخص می‌شود که خطای خط L1 دارای مقاومت بالایی بوده که با درنظر گرفتن محدودیت تنظیم مقاومتی رله‌های ایستگاه S (به دلیل عدم وجود قابلیت قفل بار)، این خطا در خارج از محدوده‌ی زون‌های حفاظتی رله‌ی دیستانس خط L1 در ایستگاه S قرار داشته است. اطلاعات ثبات رله‌ی اولیه‌ی خط L2 در ایستگاه G در شکل ۵ آورده شده است:

00301	Power System fault	12 - ON	10.07.2023
00302	Fault Event	12 - ON	10.07.2023
03688	Distance Pickup L3E	ON	0 ms
03703	Distance Loop L3E selected forward	ON	0 ms
03805	Distance TRIP command Phases L123	ON	804 ms
00533	Primary fault current IL1	0.24 kA	808 ms
00534	Primary fault current IL2	0.39 kA	808 ms
00535	Primary fault current IL3	1.02 kA	808 ms
03671	Distance PICKED UP	OFF	877 ms
03703	Distance Loop L3E selected forward	OFF	877 ms
01125	Fault Locator Loop L3E	ON	765 ms
01117	Flt Locator: secondary RESISTANCE	5.06 Ohm	765 ms
01118	Flt Locator: secondary REACTANCE	7.47 Ohm	765 ms
01114	Flt Locator: primary RESISTANCE	48.53 Ohm	765 ms
01115	Flt Locator: primary REACTANCE	71.53 Ohm	765 ms
01119	Flt Locator: Distance to fault	33.9 km	765 ms
01120	Flt Locator: Distance [%] to fault	71.9 %	765 ms
01131	Flt Locator: primary FAULT RESISTANCE	151.63 Ohm	765 ms

شکل (۵) : ثبات رله‌ی خط L2 در ایستگاه G

بر اساس اطلاعات شکل ۵، مقدار مقاومت خطا از دید ایستگاه G برابر ۴۸/۵۳ اهم بوده که با انجام محاسبات تقریبی و درنظر گرفتن تأثیر جریان‌های جاری شده از مسیر نوترال ایستگاه S به محل خطا (Infeed Current) بر افزایش مقاومت دیده شده از دید ایستگاه G مشخص می‌شود مقاومت دیده شده از دید ایستگاه S در این حادثه برابر ۴۲/۸۶ اهم بوده است. بنابراین با درنظر گرفتن اطلاعات جدول ۱ (که مقاومت زون۳ خط L1 برابر ۳۴/۲ اهم می‌باشد) ملاحظه می‌شود که مقدار مقاومت خطای خط L1 از دید ایستگاه S از لحظه‌ی وقوع خطا تا زمان تریپ خط L2 در ایستگاه G بزرگتر از مقدار تنظیمی زون۳ و در نتیجه خارج از محدوده‌ی زون‌های حفاظتی رله‌ی دیستانس بوده است. از طرفی به دلیل تنظیم بالای مقاومتی رله‌ی دیستانس اولیه‌ی خط L2 در ایستگاه G (به دلیل وجود قابلیت قفل بار)، خطای خط L1 در محدوده‌ی زون۳ رله‌ی دیستانس اولیه‌ی خط L2 در ایستگاه G قرار داشته که با توجه به ماندگاری خطا، با گذشت ۸۰۴ میلی‌ثانیه به صورت صحیح فرمان تریپ صادر نموده است. شکل ۶ اطلاعات مسیر امپدانس خطا را در رله‌ی اولیه‌ی خط L2 ایستگاه G نشان می‌دهد:



شکل (۶) : مسیر امپدانس خطا در رله‌ی اولیه‌ی خط L2 ایستگاه G

طبق اطلاعات شکل ۶ مشاهده می‌شود که خطا پس از وقوع، با تأخیر زمانی ۲۷ میلی‌ثانیه وارد محدوده‌ی زون‌های حفاظتی رله‌ی دیستانس اولیه‌ی خط L2 در ایستگاه G شده است. با توضیحات فوق می‌توان دریافت که حداقل زمان از لحظه‌ی وقوع خطا بر روی خط L1 تا استارت فانکشن دیستانس خط L1 در ایستگاه S برابر ۸۳۱ میلی‌ثانیه بوده است. این موضوع هم باید درنظر گرفته شود که رله‌ی ثانویه‌ی خط L2 ایستگاه G (از نوع P442) در این حادثه عملکردی نداشته است. نکته‌ی مهم در خصوص عدم عملکرد آن این است که این رله نیز مشابه رله‌های خط L1 در ایستگاه S فاقد قابلیت قفل بار بوده و در نتیجه تنظیم مقاومتی محدودی دارد که اطلاعات آن در جدول ۲ آورده شده است. مطابق اطلاعات جدول ۲، مقاومت تنظیمی زون۳ رله‌ی ثانویه‌ی خط L2 در ایستگاه G برابر ۲۹/۹ اهم بوده که با درنظر گرفتن مقاومت خطای ثبت شده در رله‌ی اولیه‌ی خط L2 (۴۸/۵۳ اهم) مشخص می‌شود مقاومت خطا بیشتر از مقدار تنظیمی رله‌ی P442 بوده و در نتیجه محل خطا در خارج از محدوده‌ی زون‌های حفاظتی این رله قرار می‌گیرد.

۲-۲- راه‌حل پیشنهادی

تاکنون مشخص شد عدم وجود واحد قفل بار در دو رله‌ی دیستانس اولیه و ثانویه‌ی خط L1، موجب گسترش حادثه و قطع بی‌مورد خط L2 در ایستگاه G شده است. لازم به ذکر است در ایستگاه‌های دارای خطوط متعدد، وقوع این مشکل در ایام پیک بار می‌تواند امنیت شبکه را دچار اشکال جدی کند. از این رو لازم است بر اساس بند ۲-۱-۲-ت نظامنامه، رله‌های دیستانس مورد استفاده در خطوط انتقال دارای واحد قفل بار باشند. در مواردی که به دلایل مختلف از جمله کمبود نقدینگی و ...، امکان استفاده از دو رله‌ی مجهز به واحد قفل بار ممکن نباشد، تجهیز حداقل یکی از رله‌های دیستانس به واحد قفل بار ضروری است که اهمیت این موضوع در حادثه‌ی فوق به خوبی نشان داده شده است.

۳- جمع‌بندی

همان‌طور که در متن مقاله به آن اشاره شد، امکان ورود مشخصه‌ی بار به محدوده‌ی زون‌های حفاظتی رله‌ی دیستانس در زمان پرباری شبکه وجود دارد که جهت جلوگیری از این کار، از واحد قفل بار در رله‌های دیستانس استفاده می‌شود. عدم وجود این واحد می‌تواند موجب کاهش تنظیم مقاومتی رله‌های دیستانس و در نتیجه تشخیص دیرهنگام و یا عدم تشخیص خطاهای مقاومتی در خطوط انتقال گردد. از طرفی تشخیص دیرهنگام و یا عدم تشخیص خطاها در شبکه می‌تواند باعث گسترش حادثه به شبکه‌ی بالادست و عملکرد رله‌های اطراف منطقه‌ی حادثه دیده و در نتیجه وقوع خاموشی‌های بی‌مورد گردد که این موضوع در ایام پیک بار پیامدهای مختلفی را در پی دارد. در نتیجه، هر دو رله‌ی دیستانس مورد استفاده در خطوط انتقال باید مجهز به واحد قفل بار در خطوط انتقال بوده و در صورت عدم امکان، استفاده از یک رله‌ی دیستانس مجهز به واحد قفل بار ضروری است.

مراجع

[1] Siemens AG. Distance Protection 7SA522 V4. 74: Manual.

[۲] معاونت برنامه‌ریزی و نظارت بر امنیت شبکه، مدیریت مطالعات و حفاظت شبکه، نظامنامه سیستم رله و حفاظت شبکه انتقال برق ایران، ویرایش ششم، اردیبهشت ۱۴۰۲.