بررسی علت عملکرد کاذب حفاظت اتصال زمین حساس در هنگام مانور شبکه‌های توزیع

محمدرضا بهمنش فر[۱]، مهدی پیرپیران[۲]، احمد جعفری جبلی[۳]

[۱] معاونت بهره برداری، شرکت توزیع برق استان اصفهان، اصفهان، m.behmaneshfar@gmail.com

[۲] معاونت بهره برداری، شرکت توزیع برق استان اصفهان، اصفهان، mehdi_pirpiran@yahoo.com

[۳] معاونت بهره برداری، شرکت توزیع برق استان اصفهان، اصفهان، Ahmadjafari51509@gmail.com

چکیده

در پست‌های فوق توزیع حفاظت‌های متفاوتی بر روی فیدرهای خروجی فشار متوسط وجود دارد این حفاظت‌ها در واقع، حفاظت‌های پشتیبان تجهیزات حفاظتی طول فیدر نیز محسوب می‌گردند. حفاظت‌های رایج در یک فیدر فشار متوسط، حفاظت‌های اضافه جریان و اتصال زمین است. به دلیل امکان وقوع خطای زمین با جریان کم، غالباً از حفاظت خطای زمین حساس SEF (Sensitive Earth Fault) نیز در ابتدای فیدرهای فشار متوسط استفاده می‌گردد در این مقاله ابتدا به تشریح عملکرد حفاظت اتصال زمین حساس پرداخته می‌شود سپس یکی از چالش‌های این حفاظت که گاهاً در هنگام مانورهای کوتاه مدت شبکه (در حالت رینگ) به وقوع می‌پیوندد بررسی شده است. در هنگام اتصال دو فیدر فشار متوسط در حالت برقدار بودن دو فیدر و با اطمینان از همفاز بودن هر سه فاز متصل شده، در برخی موارد حفاظت SEF بدون راه داشتن مسیر جریان به زمین، عمل می‌کند که در این مقاله به بررسی چرایی این موضوع و پارامترهای تاثیرگذار در آن پرداخته شده است.

کلمات کلیدی

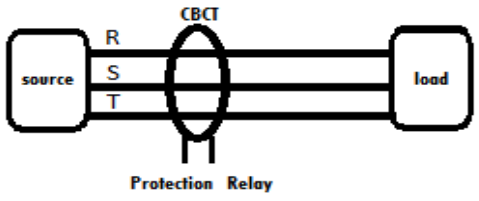
حفاظت اتصال زمین ، حفاظت اتصال زمین حساس ، عملکرد کاذب، شبکه توزیع برق ، فیدرهای فشار متوسط

۱- مقدمه

هماهنگی حفاظتی مابین تجهیزات حفاظتی در شبکه قدرت در راستای عملکرد صحیح، همواره مد نظر بوده است [۱] در صورتی که هماهنگی حفاظتی به طور صحیح رعایت نشود ممکن است منجر به قطع تجهیزات غیر معیوب و یا قطع گسترده خطوط شود [۲و۳] بیش از ۷۰ درصد خطاهای شبکه، خطاهای EF است. [۴] در برخی از خطاهای شبکه، به دلیل وجود امپدانس در مسیر خطای زمین، ممکن است مقدار جریان خطا به آستانه عملکرد حفاظت EF نرسد لذا در این جریان‌های کم از حفاظت دقیق‌تری تحت عنوان حفاظت اتصال زمین حساس استفاده می‌شود که این حفاظت نیز تاثیرپذیر از عوامل متعدد می‌تواند عملکرد کاذب داشته باشد به عنوان مثال لازم است اثر خطاهای CT کوربالانس بر حفاظت بررسی گردد. [۵] در این مقاله به بررسی یک حالت عملکرد حفاظت SEF بدون وجود مسیر خطای زمین پرداخته شده است.

۲- حفاظت خطای زمین حساس SEF (Sensitive Earth Fault Protection)

رله اتصال زمین حساس (SEF) با اندازه گیری جریان باقیمانده در سه فاز یک سیستم کار می‌کند. در شرایط کارکرد عادی شبکه، جریان باقیمانده (توالی صفر جریان) صفر خواهد بود زیرا تمام جریان‌ها از طریق سه سیم اصلی مربوط به فازها عبور می کنند. در هنگام بروز خطا، جریان باقیمانده اندازه گیری شده دیگر برابر با صفر نخواهد بود زیرا جریان فاز خطا از زمین عبور می‌کند. یکی از اهداف مهم حفاظت SEF، شناسایی هادی‌های هوایی سقوط کرده با جریان خطای کم است. اگر یک هادی بر روی زمین بسیار خشک بیفتد، امپدانس خطا می‌تواند بسیار زیاد باشد و تنها مقدار کمی از جریان در زمین جریان می‌یابد. از این رو نیاز به حفاظت خطای زمین حساس تری نسبت به حفاظت خطای زمین معمولی است. حفاظت خطای زمین حساس، همانطور که از نامش پیداست حساس تر از حفاظت خطای زمین معمولی است. به طور معمول، آستانه عملکرد این حفاظت در محدوده ۵-۱۰ آمپر، با تاخیرهای بیشتر از حفاظت خطای زمین و در مرتبه ثانیه خواهد بود. (مثلاً ۲ ثانیه) در صورت استفاده از سه ترانس جریان، شبیه مدار حفاظت EF (اتصال زمین) در چنین خطاهایی با اندازه کم، حفاظت SEF مستعد خطا در اثر جمع خطای هریک از ترانسهای جریان است لذا معمولا برای حفاظت SEF از ترانس جریان کوربالانس (core-balance) استفاده می‌شود(شکل ۱). همانطور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود CT کوربالانس به دور هر سه فاز قرار می‌گیرد و در شرایط عادی(بدون بروز خطای اتصال زمین)، میدان‌های مغناطیسی آنها یکدیگر را خنثی می‌کنند و برآیند جریان اندازه گیری شده صفر خواهدبود.



شکل ۱ - مدار حفاظت SEF با ترانس جریان کوربالانس

۳- شرح مسئله

در این مقاله ابتدا به بررسی عملکرد حفاظت SEF پرداخته شده‌است، سپس چالش قطع حفاظت در هنگام مانور، با شبیه سازی در نرم افزار Digsilent بررسی گردیده و در ادامه علت موضوع و عوامل تاثیر گذار بر آن تشریح شده است.

۳-۱- تعریف مشکل و چالش مورد بررسی

شبکه توزیع انرژی الکتریکی ایران به صورت شعاعی بهره برداری می گردد ولی بعضی اوقات در خاموشی‌های با برنامه و به منظور جلوگیری از قطع مشترکین، شبکه برقدار را برای لحظاتی از مسیر دومی به صورت موازی برقدار می‌نمایند و سپس ناحیه مورد نظر جهت قطع را جدا می کنند به عنوان مثال فیدر را از فیدر دیگری برقدار کرده و سپس کلید اصلی فیدر اول در پست فوق توزیع و یک کلید در اوایل فیدر را قطع می‌کنند بدین ترتیب، قسمت ابتدایی فیدر جهت تعمیرات بی برق می‌شود. در برخی مواقع در هنگامی که دو فیدر به یکدیگر متصل می شوند فیدرها به دلیل عملکرد پست فوق توزیع در حفاظت SEF، قطع می گردد این موضوع در چهار نقطه متفاوت در شرکت توزیع برق استان اصفهان، تکرار گردید و پس از بررسی موضوع مشخص گردید وجه مشترک همه موارد عبارتند از : ۱- هیچ گونه خطایی در شبکه رخ نداده است ۲- کلید نقطه مانور (اتصال دو فیدر به یکدیگر) در نزدیکی پست فوق توزیع قرار دارد.

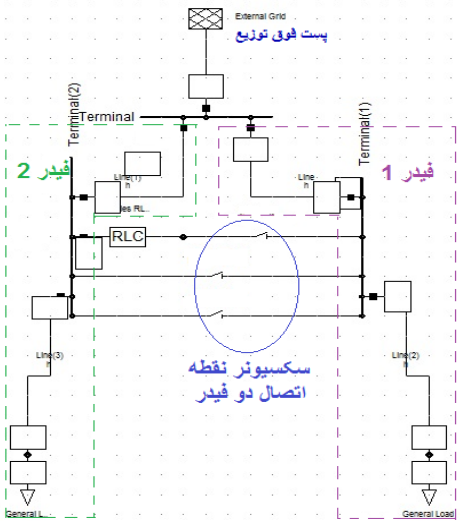
۳-۲- ارائه تجربیات و راه حل برای چالش و مشکل و دستاورد حاصله

پس از بررسی موضوع، حدس اولیه وجود اتصال سست در یکی از فازها و در مسیر کلید مانور تا پست فوق توزیع بود که این فرض با بهره گیری از دوربین ترموویژن اثبات گردید و پس از رفع اتصال سست، مشکل مرتفع شد در زمان بستن سکسیونر نقطه مانور، وجود اتصال سست در مسیر یکی از فیدرها تا نقطه کلید، سبب می شود از یکی از فازها جریان کمتری به سمت بار سرازیر شود و این جریان با جاری شدن جریان بیشتر از فیدر دوم به سمت بار جبران می‌گردد در ادامه موضوع رخ داده با مفروضات زیر در نرم افزار دیگسایلنت شبیه سازی گردیده است (شکل۲).

مشخصات فیدر ۱: فاصله کلید مانور تا پست فوق توزیع=۵۰۰ متر، طول مابقی فیدر تا بار=۱۰ کیلومتر، بار انتهای فیدر= ۴ مگاوات با ضریب توان ۰.۹،نوع شبکه=هوایی، جنس سیم شبکه=هاینا

مشخصات فیدر ۲: فاصله کلید مانور تا پست فوق توزیع=۵۰۰ متر، طول مابقی فیدر تا بار=۱۱ کیلومتر، بار انتهای فیدر= ۳ مگاوات با ضریب توان ۰.۹،نوع شبکه=هوایی، جنس سیم شبکه=هاینا

در مدار شکل ۲، در یک فاز از سکسیونر نقطه مانور، یک امپدانس سری RLC قرار داده شده است و فقط میزان R آن برابر ۰.۳ اهم در نظر گرفته شده است.



شکل ۲- مدار شبیه‌سازی شده در نرم افزار دیگسایلنت

حال مدار را در حالت های زیر بررسی می‌کنیم:

حالت ۱: سکسیونر نقطه مانور باز است و دو فیدر در حال تغذیه بار مربوط به خود هستند. حالت ۲: کلید نقطه مانور بسته است ولی مقاومت نقطه اتصال در هر سه فاز برابر صفر است. در این حالت حدود ۰.۵ مگاوات از بار فیدر ۱، از طریق فیدر ۲، تغذیه می گردد و جریان 3I0 اندازه گیری شده در ابتدای هر دو فیدر برابر صفر است. حالت ۳: مقاومت R=0.3 اهم به یکی از فازهای فیدر ۲ اضافه می‌گردد. در این حالت جریان 3I0 در هر دو فیدر به میزان ۷.۴ آمپر به وجود می‌آید. علت وجود این جریان این است که یکی از فازهای فیدر ۲ به دلیل داشتن مقاومت بیشتر در مسیر خود و بر اساس رابطه تقسیم جریان در مقاومت های موازی، سهم کمتری از تامین جریان بار انتهای فیدر ۱ را بر عهده دارد لذا چون هر سه فاز سهم مساوی ندارند، مجموع جریان آنها مخالف صفر خواهد شد. حالت ۴: برای بررسی اثر فاصله پست فوق توزیع تا نقطه مانور (محل قرار گیری کلید)، فاصله نقطه نصب کلید تا پست را در هر دو فیدر برابر با ۳ کیلومتر در نظر می گیریم در این حالت جریان 3I0 به شدت افت می‌نماید و علت آن این است که مسیر جریانی که فیدر ۲ با آن بار فیدر ۱ را تغذیه می‌نماید طولانی تر شده است و امپدانس مسیر در برابر مقاومت اتصال سست در تقسیم جریان کم اثر می شود، لذا به حد عملکرد رله نمی‌رسد.

حالت ۵: کلید را مجدداً به فاصله ۵۰۰ متری پست باز می گردانیم ولی این بار، بار فیدر ۱ را از ۴ مگاوات به ۶ مگاوات با همان ضریب توان ۰.۹ افزایش می دهیم. در این حالت فیدر ۲ نسبت به حالت ۳، حدود ۱.۲ مگاوات، سهم بیشتری در تامین بار فیدر ۱ پیدا خواهد نمود لذا بالا بودن میزان جریان، سبب بروز نامتعادلی بیشتری در جریان فازها خواهد شد و جریان 3I0 در ابتدای هر دو فیدر به ۲۳ آمپر خواهد رسید. نتایج شبیه سازی در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱ – نتایج شبیه سازی

	توان اکتیو ابتدای فیدر ۱ (MW)	توان راکتیو ابتدای فیدر ۱ (MVAR)	توان اکتیو ابتدای فیدر ۲ (MW)	توان راکتیو ابتدای فیدر ۲ (MVAR)	$3I_0$ در ابتدای فیدر ۱ (آمپر)	$3I_0$ در ابتدای فیدر ۲ (آمپر)
حالت ۱	۴.۱۶	۲.۱۸	۳.۱	۱.۶	۰	۰
حالت ۲	۳.۶۳	۱.۸۹	۳.۶۳	۱.۸۹	۰	۰
حالت ۳	۳.۶۶	۱.۹۶	۳.۵۹	۱.۸۱	۷.۴	۷.۴
حالت ۴	۳.۶۶	۱.۹۶	۳.۶۶	۱.۹۲	۱.۷	۱.۷
حالت ۵	۴.۸۵	۲.۷۸	۴.۶۳	۲.۳	۲۳	۲۳

۴- نتیجه گیری

همانطور که مشاهده شد علت اصلی تشخیص جریان خطا توسط رله SEF، وجود اتصال سست در مسیر جریان می‌باشد ولی عواملی مثل فاصله نقطه مانور تا پست فوق توزیع و بالا بودن بار یکی از فیدرها، نیز در میزان این جریان تاثیر گذار خواهد بود بدین صورت که هر چه فاصله کلید نقطه مانور از پست فوق توزیع کمتر باشد و یا سهم مسیر نصب کلید مانور در تامین بار فیدر پربارتر، بیشتر باشد جریان 3I۰ بیشتر می‌شود و احتمال عملکرد کاذب رله SEF افزایش می‌یابد. لذا پیشنهاد می‌گردد در ابتدای فیدرهایی که کلید مانور آنها در اوایل فیدر قرار دارد ترموگرافی در دوره های سالیانه انجام شده و اتصالات سست مرتفع گردد. لازم به ذکر است با توجه به این موضوع که جریان 3I۰ دائمی است و گذرا نمی‌باشد لذا نحوه باز و بست کلید در میزان جریان تاثیرگذار نمی‌باشد.

مراجع

[1] J. Ma, C. Liu and J. S. Thorp, "A Wide-Area Backup Protection Algorithm Based on Distance Protection Fitting Factor," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 31, no. 5, pp. 2196-2205, 2016.

[2] J. M. Gers, & E. J. Holmes, Protection of electricity distribution networks, Vol. 47, IET. 2004.

[3] M. Singh, B. K. Panigrahi, A.R. Abhyankar, & S. Das, " Optimal coordination of directional over-current relays using informative differential evolution algorithm." *Journal of Computational Science*, vol. 5(2), pp. 269-276, 2014.

[4] Z. T. Y. Mao, "A fault location and realization method for overhead high voltage power transmission". *Procedia Engineering*, vol. 15, pp. 964-968, 2011.

[5] A.Wahlroos, J.Altonen, & P.Vano, "Effect of core balance current transformer errors on sensitive earth-fault protection in compensated MV networks" *CIRED-Open Access Proceedings Journal* . pp.1059-1063. 2017.