شبیه‌سازی و عارضه‌یابی سوختن فیوز اولیه ترانس‌های ولتاژ در نرم‌افزار PSCAD و عملکرد کاذب حفاظت‌ها

امیر مرادی فر[۱]، احسان عبداللهی[۲]، غلامرضا اساسه[۳]، جواد رخشی[۴]، مهدی معینی[۵]، داود امیری زاده[۶]

[۱] کارشناس رله و حفاظت، شرکت برق منطقه‌ای سمنان، سمنان، amir.moradifar@gmail.com, A_moradifar@semrec.co.ir

[۲] مدیر دفتر فنی طرح و توسعه ، شرکت برق منطقه‌ای سمنان، سمنان Ehsan@semrec.co.ir
[۳] معاون بهره‌برداری، شرکت برق منطقه‌ای سمنان، asaseh@semrec.co.ir
[۴] کارشناس بهره‌برداری، شرکت برق منطقه‌ای سمنان، سمنان J.rakhshi@semrec.co.ir
[۵] مدیر امور انتقال انرژی مرکز و غرب، شرکت برق منطقه‌ای سمنان، سمنان M_moeini@semrec.co.ir
[۶] رئیس اداره نظارت مرکز و غرب، شرکت برق منطقه‌ای سمنان، سمنان D_amirizadeh@semrec.co.ir

چکیده

در این مقاله، یکی از چالش‌ها که در پست‌های فوق توزیع کشور منجر به عملکرد حفاظت‌های مختلف مانند حفاظت ولتاژ کم (UV) یا ولتاژ زیاد (OV) و اشتباه در کنترل‌کننده ولتاژ خودکار (AVR) ترانس قدرت می‌شود مورد شبیه‌سازی و عارضه‌یابی قرارگرفته است. معمولاً ترانس‌های اندازه‌گیری ولتاژ (PT) سمت ۲۰ کیلوولت دارای فیوز ۲ آمپری بوده است که بنا به دلایلی معیوب می‌گردند. با بررسی‌های میدانی و دریافت اطلاعات از بهره‌برداران و پیمانکاران و اساتید و کارشناسان، این مشکل در حالت‌های مختلف مورد عارضه‌یابی قرار گرفت اعم از امکان ایجاد رزونانس، فرورزنانس، ورود و خروج بانک خازنی و جریان همدردی ترانس قدرت و ... . مشاهده گردید این عوامل به‌طور مستقیم دخالتی در سوختن فیوز اولیه PT نداشته‌اند، اما از عوامل غیرمستقیم جهت سرعت بخشی به سوختن فیوز PT و عملکرد حفاظت‌ها و کنترل‌کننده‌ها هستند. با شبیه‌سازی در نرم‌افزار PSCAD و بررسی سناریوهای مختلف هر یک از فرضیات رد شدند و محرز شد که نیاز به تغییر آمپر از فیوز ۲ آمپری به ۴ یا ۶ آمپری است و بعد از گذر زمان فیوزهای ۲ آمپری Derate می‌گردند و لازم است صحت عملکرد فیوزها و کیفیت آن‌ها موردتوجه قرار گیرند.

کلمات کلیدی

فیوز، ترانس اندازه‌گیری ولتاژ، پست فوق توزیع، حفاظت، شبیه‌سازی

۱- مقدمه

مقادیر لحظه‌ای ولتاژ شبکه توسط ترانسفورماتور ولتاژ (PT) به سطح پایین‌تری تبدیل می‌شوند و در اختیار رله‌های حفاظتی قرار می‌گیرند. ولتاژ نامی ثانویه ترانسفورماتورهای ولتاژ معمولاً ۱۰۰ یا ۱۱۰ ولت (فاز به فاز) است و ولتاژ اولیه متفاوت است که در این مقاله PTهای دارای فیوز اولیه موردنظر است که در پست‌های فوق توزیع و سمت ۲۰kv استفاده می‌شوند. به‌طورکلی اگر خطایی در سمت اولیه یا ثانویه ترانسفورماتور ولتاژ رخ دهد، علی‌رغم اینکه خطا در شبکه اصلی رخ نداده است، می‌تواند منجر به عملکرد غلط فانکشن‌های حفاظتی و کنترلی وابسته به مقادیر ولتاژ شود. برای مثال فانکشن‌های حفاظتی افت ولتاژ (UV) و اضافه ولتاژ (OV) و کنترل‌کننده خودکار ولتاژ (AVR) ترانس قدرت به مقادیر اندازه‌گیری شده ولتاژ شبکه نیاز دارند [۱]. در صورت بروز خطا در فیوزهای سمت اولیه و یا سیم‌پیچ‌های ثانویه ترانسفورماتور ولتاژ، ولتاژ شبکه از دید رله و AVR کاهش یا افزایش می‌یابد و این مسئله منجر به عملکرد نادرست و ارسال دستور قطع به کلید قدرت می‌شود. این در حالی است که این خطا مربوط به شبکه قدرت یا تجهیز موردحفاظت نبوده است. لذا باید در حد امکان خطاهای سمت اولیه ترانس اندازه‌گیری ولتاژ را شناسایی و تحلیل کرد تا مانع از عملکرد کاذب رله‌ها شد. البته در سمت ثانویه PT تا حدودی این مشکل حل‌شده است طوری که رله حفاظتی قبل از ارسال دستور قطع، وجود خطا در ثانویه PT را تشخیص می‌دهد و مانع از عملکرد غلط فانکشن های حفاظتی می‌گردد [۲].

۱-۱- پدیده فرورزنانس ترانسفورماتورهای ولتاژ مغناطیسی [۳]

پدیده فرورزنانس در ترانسفورماتورهای ولتاژ مغناطیسی، نوسان بین اندوکتانس ترانسفورماتور ولتاژ و خازن شبکه است. این پدیده فقط در سیستم‌های زمین نشده اتفاق می‌افتد، اما باید در نظر گرفت در شرایط خاص، این خطر وجود دارد که اتصال زمین بعضی از تجهیزات قطع شود. یک نوسان، به‌طورمعمول با تغییر ناگهانی در ولتاژ شبکه اتفاق می‌افتد. پدیده فرورزنانس می‌تواند در فرکانس اصلی و یا هارمونیک‌های آن رخ دهد. به‌طور کلی، تشخیص زمان بروز اتفاق در پدیده فرورزنانس مشکل خواهد بود. به‌طور معمول برای خنثی کردن اثر فرورزنانس، باید یک مقاومت ۲۷-۶۰ اهم با توان ۲۰۰ وات را به ترمینال اتصال سیم‌پیچ مثلث باز متصل کرد [۱,۳]. این مقاومت، تا حد امکان باید جریان بزرگ‌تری را از خود انتقال دهد، اما مقدار این جریان باید کمتر از مقدار جریان حرارتی ترانسفورماتور ولتاژ باشد.

۱-۲- خطاهای ناشی از حالت گذرا در ترانسفورماتور ولتاژ و چالش موجود [۴]

این خطاها ممکن است مشکلاتی را در استفاده از ترانسفورماتورهای ولتاژ ایجاد کنند، که یکی از این خطاها کاهش عمر یا خارج شدن از رنج فیوز سمت اولیه ترانس ولتاژ است که اصطلاحاً به آن Derate شدن فیوز گویند. به‌طور مثال یک ولتاژ ناگهانی ناشی از کلید زنی خصوصاً کلید زنی ترانس قدرت و کلید زنی بانک خازنی به ترانس ولتاژ اعمال می‌شود، (مانند ترانس قدرت) یک جریان ضربه‌ای وصل از آن عبور می‌کند، هرچند این جریان، به دلیل اینکه چگالی شار ترانسفورماتور ولتاژ نسبت به ترانسفورماتور قدرت کمتر است، دارای مقدار کوچک‌تری است. به‌هرحال، این خطای ناشی از جریان ضربه‌ای وصل در اولین سیکل‌های جریان اولیه و ثانویه ترانس ولتاژ اتفاق می‌افتد [۴].

انواع خطاهایی که ممکن است در داخل ترانس ولتاژ یا مدارهای اولیه و ثانویه آن رخ دهند عبارتند از:

- خطا در سمت اولیه سیم‌پیچ‌های اولیه یا فیوز اولیه
- باز شدن مدار الکتریکی وصل‌کننده رله به ثانویه PT، این خطا می‌تواند ناشی از قطع یک سیم یا باز شدن اتصالات آن باشد.
- بروز خطای اتصال کوتاه در سمت ثانویه، معمولاً سمت ثانویه ترانسفورماتور ولتاژ توسط فیوز یا کلید مینیاتوری در مقابل اتصال کوتاه حفاظت می‌شود. در صورت بروز اتصال کوتاه در ثانویه PT، فیوز یا کلید مینیاتوری عمل می‌کند و مدار ثانویه را باز می‌کند.

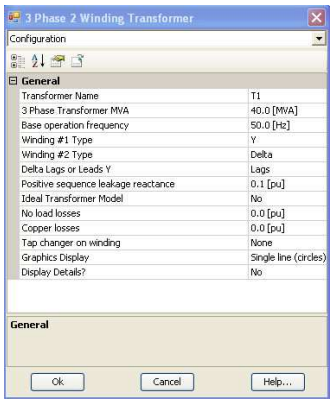
۱-۳- ارائه تجربیات و راه‌حل برای چالش و مشکل و دستاورد حاصله

در شکل (۱) یک نمونه PT ۲۰ کیلو ولت آسیب‌دیده و فیوز اولیه ترانس ولتاژ را مشاهده می‌کنید که به تعداد دفعات زیاد فیوز اولیه مذکور که در بازوهای بریکر ۲۰ کیلو ولت قرار می‌گیرند در پست‌های فوق توزیع معیوب شده و منجر به عملکرد کاذب رله‌های حفاظتی و کنترلی شده‌اند.

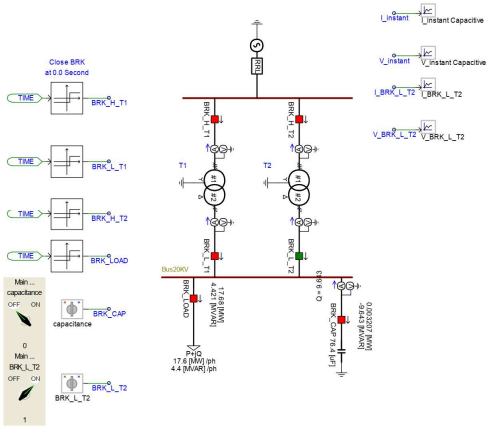
شکل (۱): ترانس ولتاژ ۲۰ KV آسیب‌دیده و فیوزهای اولیه ترانس ولتاژ

فرضیات مختلف مانند موضوع فرورزنانس، حالت‌های گذاری سویچ کردن بانک‌های خازنی و ترانس قدرت که منجر به سوختن فیوز اولیه PT می‌شوند در محیط نرم‌افزار PSCAD شبیه‌سازی شدند. اطلاعات وارد شده و شبکه شبیه‌سازی شده در شکل (۲) نمایش داده‌شده‌اند.

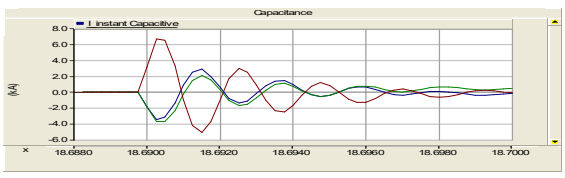
شبیه‌سازی صورت گرفته از اطلاعات واقعی یک پست فوق توزیع در استان سمنان است که دارای آرایش H است و در شکل (۳) نمایش داده‌شده است. در شکل (۴) و (۵) جریان گذرا سمت LV-T2، بانک خازنی و ولتاژ گذرا باس ۲۰ کیلو ولت نمایش داده‌شده است که به علت محدودیت در تعداد صفحات دیگر شکل‌ها و جریان‌های گذرا ترانس قدرت و ... نمایش داده نشده‌اند و در فایل گزارش ضمیمه ارائه شده است..



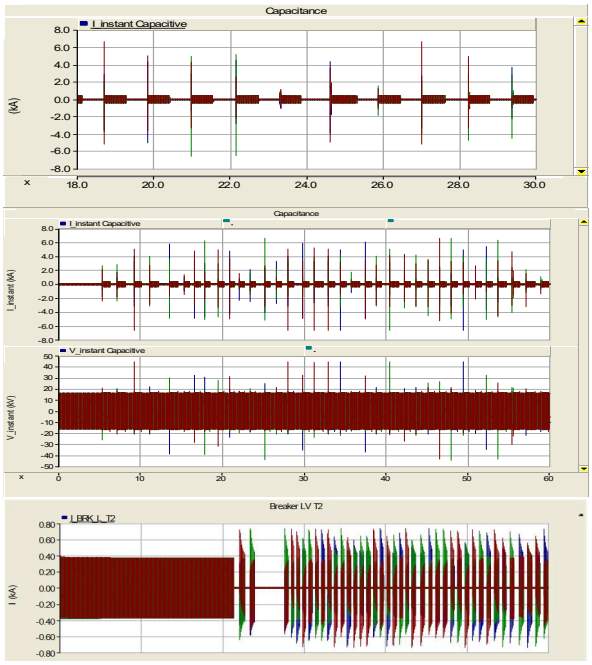
شکل (۲): نمونه اطلاعات وارد شده در نرم‌افزار PSCAD



شکل (۳) : پست فوق توزیع واقعی شبیه‌سازی شده در PSCAD



شکل (۴) جریان گذرا بانک خازنی هنگام سوییچینگ



شکل (۵) جریان گذرا LV-T2، بانک خازنی و ولتاژ گذرا باس ۲۰ کیلو ولت

با بررسی‌های میدانی و دریافت اطلاعات از بهره‌برداران و پیمانکاران و اساتید و کارشناسان، این مشکل در حالت‌های مختلف مورد عارضه‌یابی قرار گرفت اعم از امکان ایجاد رزونانس، فرورزنانس، ورود و خروج بانک خازنی و جریان همدردی ترانس قدرت و ... . مشاهده گردید این عوامل به‌طور مستقیم دخالتی در سوختن فیوز اولیه PT نداشته‌اند، اما از عوامل غیرمستقیم جهت سرعت بخشی به سوختن فیوز PT و عملکرد حفاظت‌ها و کنترل‌کننده‌ها هستند. با شبیه‌سازی در نرم‌افزار PSCAD و بررسی سناریوهای مختلف هر یک از فرضیات رد شدند و محرز شد که نیاز به تغییر آمپر از فیوز ۲ آمپری به ۴ یا ۶ آمپری هست و بعد از گذر زمان فیوزهای ۲ آمپری Derate می‌گردند و لازم است صحت عملکرد فیوزها و کیفیت آن‌ها مورد توجه قرار گیرند.

مراجع

[1] L. Hewitson, M. Brown, R. Balakrishnan, **Practical Power System Protection**. Germany: Elsevier Science p. 52. 2005.
[2] A. Wright, and P. Gordon. **Electric Fuses**. London, Institution of Electrical Engineers, 2004.
[3] W. Kraszewski, P. Syrek, M. mitoraj "Methods of ferroresonance mitigation in voltage transformers in a 30 KV power supply network", Energies, MDPI, 2022.
[4] Ameli, Amir, et al. "An auxiliary framework to mitigate measurement inaccuracies caused by capacitive voltage transformers." *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement* 71 (2022): 1-11