

بررسی نمونه ای عملکرد رله های جریان اضافی استاتیک و نیومریک در رخدادهای تشدید خازن با مولفه های هارمونیک

علی عمادی^۱، مسیح فهمی^۲

^۱ امور بهره برداری انتقال گلستان، شرکت برق منطقه ای مازندران و گلستان، emadi@mail.um.ac.ir

^۲ دفتر فنی انتقال، شرکت برق منطقه ای مازندران و گلستان، masih.fahimi@gmail.com

چکیده

نصب خازن های موازی ولتاژ متوسط در نزدیکی بار مصرفی شبکه یک راهکار موثر در جهت اصلاح ضریب توان و بهبود پروفیل ولتاژ شبکه می باشد. در کنار این مزایا، افزایش احتمال وقوع تشدید یکی از چالش های نصب این خازن هاست. طی بررسی هایی که بر روی حوادث خازن های تحت پوشش امور بهره برداری انتقال گلستان قرار گرفت مشخص گردید عملکرد جریان اضافی ناشی از تشدید بر روی خازن های منصوبه در برخی ایستگاه ها بطور محسوسی بیشتر از سایر ایستگاه هاست؛ در صورتی که طبق ظرفیت نصب شده خازن و ترانس منصوبه در ایستگاه ها انتظار می رود آمار تشدید در ایستگاه های دیگری بالاتر باشد. طبق بررسی های انجام شده، حوادث تشدید بیشتر بر روی خازن های حفاظت شده با رله های استاتیک (برند GEC ALSHOM) به وقوع پیوسته است که این رله ها با رله نیومریک از برند ABB تعویض شدند. آمار نشان می دهد حوادث تشدید بطور محسوسی پس از تعویض رله ها کاهش یافته است. نتایج آزمایش های پیکاپ و زمان عملکرد با تزریق جریان های هارمونیک به این دو رله استاتیک و نیومریک نیز ارائه شده است.

کلمات کلیدی

خازن موازی، اصلاح ضریب توان، رله استاتیک، رله نیومریک، تشدید.

۱- مقدمه

فرکانس تشدید شبکه نزدیک بوده و دامنه آن ها افزایش یابد. در این شرایط، جریان خازن شامل جریان های هارمونیک بزرگی بوده که منجر به افزایش دامنه جریان خازن نسبت به مقدار نامی خواهد شد. بسته به منطق عملکرد رله های اضافه جریان، افزایش دامنه جریان می تواند منجر به عملکرد رله حفاظت اضافه جریان و خروج خازن بدون وجود خطا از مدار شود. مسئله ای که در خصوص بهره برداری خازن ها خصوصاً در زمان پیک بار شبکه فوق توزیع ایجاد چالش می نماید.

خروج یکباره خازن از مدار خصوصاً در زمان پیک بار منجر به افت ولتاژ یکباره ثانویه ترانسفورماتور ایستگاه می گردد. در این شرایط رله تنظیم ولتاژ خودکار (AVR) ترانسفورماتور به چندین دقیقه زمان نیاز خواهد داشت تا ولتاژ را به محدوده مجاز برساند. حتی در برخی شرایط ولتاژ ثانویه ترانسفورماتور بر روی آخرین تپ ترانسفورماتور نیز به محدوده مناسبی نخواهد رسید.

بخش عمده ای از بار راکتیو شبکه توزیع ولتاژ متوسط، توسط خازن های موازی (shunt) متصل به شینه ولتاژ متوسط در ایستگاه های فوق توزیع تامین می گردد. از مزایای دیگر نصب خازن های موازی، کاهش جریان ترانسفورماتورهای ایستگاه، کاهش تلفات، بهبود پروفیل ولتاژ، بهبود ضریب توان و به تعویق انداختن توسعه شبکه می باشد. نصب خازن در شبکه چالش هایی نیز می تواند در پی داشته باشد. افزایش مولفه های هارمونیک و بعبارت دیگر تشدید هارمونیک از مهمترین این چالش هاست [۱].

یک حادثه تشدید زمانی اتفاق می افتد که فرکانس مولفه های هارمونیک موجود در جریان بار فیدرهای خروجی ایستگاه به محدوده

نسبت f_r/f_0 بیشتر از حدود ۸ است حوادث تشدید رخ نداده است؛ اما رابطه معنی داری بین تعداد حوادث و فرکانس تشدید در ایستگاه‌های تحت پوشش وجود ندارد.

علت آمار بالاتر حوادث تشدید در برخی ایستگاه‌های می توانست منطق عملکرد رله منصوبه باشد. در صورتی که تعداد حوادث تشدید خازن بر اساس برند رله‌های منصوبه بر روی خازن‌ها دسته بندی شود، تعداد حوادث تشدید در مورد برخی برند‌های رله بصورت محسوسی از سایر برند‌ها بیشتر است. در این مورد خاص رله‌های استاتیک TAS ساخت شرکت GEC ALSHOM دارای بیشترین عملکرد در بین سایر رله‌ها بودند.

با توجه به تعداد قابل توجه رله‌های TAS در ایستگاه‌های تحت پوشش، و عملکرد قابل توجه آن‌ها در حوادث تشدید انجام مطالعاتی بر روی نحوه عملکرد این رله‌ها در شرایط هارمونیک قابل توجه خواهد بود. بر اساس آزمون‌های انجام شده، آستانه پیکاپ و زمان عملکرد رله‌های TAS در جریان‌های دارای مولفه هارمونیک بطور محسوسی کاهش می‌یابد. در رله‌های نیومریک با توجه به منطق اندازه‌گیری جریان، این اثر پذیری بسیار کمتر است. در ادامه نتایج مطالعات انجام شده ارائه خواهد شد.

۳- اقدام اصلاحی در جهت کاهش حوادث

یک راه کار در جهت کاهش حوادث تشدید، نصب خازن با ظرفیت متناسب با ظرفیت ترانسفورماتور ایستگاه فوق توزیع است بطوری که مقدار فرکانس تشدید بر اساس (۴) از هارمونیک هفتم به اندازه کافی بزرگ تر باشد. البته در شرایطی از پیک بار در نقاط ژرف شبکه نصب ظرفیت‌های بالاتر خازن اجتناب ناپذیر است.

راهکار دیگر استفاده از رله‌های نیومریک بر روی فیدرهای بانک خازن بجای رله‌های TAS است. در اینجا برای حل مسئله قطع ناخواسته خازن‌ها بعلمت تشدید رله‌های TAS برکنار و با رله‌های REF615 ساخت شرکت ABB جایگزین شدند. قبل از تعویض رله‌ها میانگین سه ساله حوادث، ۵/۷ حادثه در سال بر روی این بانک‌های خازن بوده است. بعد از تعویض رله‌ها تعداد این حوادث به صفر مورد در سال کاهش یافت. برای درک علت عملکرد نامطلوب رله‌های TAS در حوادث تشدید، یکی از رله‌های اضافه جریان برکناری TAS6445AA مورد آزمایش اضافه جریان با مولفه‌های هارمونیک قرار گرفت و نتایج با عملکرد رله نیومریک از نوع ABB REF615 مقایسه شده است. آزمایشات شامل آزمون پیکاپ و زمان عملکرد هستند.

مقادیر جریان و TMS هر دو رله بترتیب بر روی ۹ آمپر و ۰/۱ ثانیه تنظیم شده‌اند. در آزمون پیکاپ جریان مولفه اصلی یک بار بدون وجود مولفه هارمونیک و در دو آزمون دیگر با وجود مولفه هارمونیک با مقدار

در این راستا در این مقاله مطالعاتی بر روی آمار حوادث خودکار خازن ناشی از تشدید، فرکانس تشدید در بانک‌های خازنی و پاسخ رله‌های استاتیک و نیومریک در رخداد‌های تشدید با جریان‌های هارمونیک انجام شده که نتایج آن در بخش‌های بعدی مقاله ارائه خواهد شد.

۲- ریشه‌یابی علت وقوع حوادث تشدید

بانک‌های خازن

وجود بانک خازن در شبکه در کنار خاصیت سلفی ترانسفورماتور ایستگاه ایجاد تشدید می‌کند. برای محاسبه فرکانس تشدید، خازن نصب شده و سلف پراکندگی ترانسفورماتور ایستگاه فوق توزیع را می‌توان بصورت یک مدار LC موازی در نظر گرفت که فرکانس تشدید این مدار بصورت زیر بدست می‌آید:

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (1)$$

مقدار L با توجه به توان ظاهری نامی ترانسفورماتور (S_T) و امپدانس درصد آن ($U_{k\%}$) بصورت زیر محاسبه می‌شود:

$$L = \frac{V_{LL}^2(U_{k\%}/100)}{2\pi f_0 S_T} \quad (2)$$

که در آن V_{LL} و f_0 به ترتیب ولتاژ فاز به فاز نامی و فرکانس نامی شبکه هستند. مقدار C نیز با توجه به توان نامی راکتیو بانک خازن (QC) بصورت زیر بدست می‌آید:

$$C = \frac{Q_C}{2\pi f_0 V_{LL}^2} \quad (3)$$

با جایگذاری (۲) و (۳) در (۱) خواهیم داشت:

$$f_r = f_0 \sqrt{\frac{S_T}{(U_{k\%}/100)Q_C}} \quad (4)$$

مقدار $U_{k\%}$ در ترانسفورماتورهای فوق توزیع در محدوده ۱۳ درصد است. با توجه به اینکه هارمونیک‌های غالب بار در شبکه توزیع هارمونیک‌های فرد مرتبه پایین (عمده آن پنجم و هفتم) هستند، در صورتی که فرکانس تشدید به محدوده این هارمونیک‌ها نزدیک باشد، احتمال وقوع تشدید بیشتر خواهد شد. طبق رابطه بالا هر چه توان ظاهری نامی ترانس کوچکتر و توان راکتیو نامی بانک خازنی منصوبه بزرگتر باشد فرکانس تشدید کوچکتر شده و احتمال وقوع تشدید نیز بیشتر می‌شود.

فرکانس تشدید بر اساس رابطه (۴) برای کلیه ایستگاه‌های فوق توزیع تحت پوشش بدست آمد تا ارتباط منطقی بین حوادث قطع خازن ناشی از تشدید و مقدار فرکانس تشدید پایه گذاری گردد. انتظار می‌رود در ایستگاه‌هایی که فرکانس تشدید مقدار کوچک تری باشد حوادث تشدید نیز به وقوع پیوسته باشد. نتایج نشان می‌دهد در ایستگاه‌هایی که

جدول ۱: نتایج آزمون پیکاپ برای رله های TAS و ABB

شماره آزمون	مرتبه هارمونیک	دامنه (آمپر)	رله TAS	مقدار پیکاپ رله برای مولفه اصلی (آمپر)		
				رله ABB		
				حالت DFT	حالت RMS	حالت Peak-to-Peak
۱	-	۰	۹/۰۹	۹/۰۴	۹/۰۴	۹/۰۴
۲	پنجم	۴	۵/۱۵	۹/۰۴	۸/۱۲	۵/۴۶
۳	هفتم	۴	۵/۳۱	۹/۰۴	۸/۱۲	۵/۴۶

جدول ۲: نتایج آزمون زمان عملکرد برای رله های TAS و ABB (دامنه مولفه اصلی ۱۸ آمپر است)

شماره آزمون	مرتبه هارمونیک	دامنه مولفه هارمونیک (آمپر)	رله TAS	زمان عملکرد رله (ثانیه)		
				رله ABB		
				حالت DFT	حالت RMS	حالت Peak-to-Peak
۱	-	۰	۰/۹۸۶	۱/۰۲۴	۱/۰۲۴	۱/۰۲۴
۲	پنجم	۴	۰/۷۵۶	۱/۰۲۳	۰/۹۸۲	۰/۷۹۱
۳	هفتم	۴	۰/۷۶۷	۱/۰۲۱	۰/۹۸۲	۰/۷۹۲
۴	پنجم	۸	۰/۶۳۶	۱/۰۲۶	۰/۸۹۷	۰/۶۷۶
۵	هفتم	۸	۰/۶۲۹	۱/۰۲۵	۰/۹۰۲	۰/۶۵۵

رله ABB، تأثیری بر روی زمان عملکرد رله دیده نمی شود. افزایش دامنه جریان هارمونیک تأثیر بیشتری بر کاهش زمان عملکرد رله ها داشته است.

با توجه به نتایج آزمون ها می توان علت عملکرد کاذب رله های TAS در حوادث تشدید بانک های خازنی را درک نمود. نتایج نشان می دهد واحد اندازه گیری جریان رله TAS در جریان های الوده شده به مولفه هارمونیک عملکرد مطلوبی از خود نشان نمی دهد. حتی در مقایسه با نتایج عملکرد رله ABB در حالت Peak-to-Peak درک صحیحی از روش عملکرد این رله در شرایط هارمونیک نمی تواند دریافت کرد. اما نتایج آزمون آن به روش محاسبه Peak-to-Peak بسیار نزدیک است.

مراجع

- [1] Cleary-Balderas, A., and A. Medina-Rios. "Harmonic resonance damping on capacitor bank filters for industrial power system applications." 2017 IEEE International Autumn Meeting on Power, Electronics and Computing (ROPEC). IEEE, 2017.
- [2] ABB REF 615 user manual, Available online at: https://library.e.abb.com/public/f49c47babe06a298c1257b2f0054c256/REF615_appl_756378_ENk.pdf

RMS ۴ آمپر از مرتبه های پنجم و مرتبه هفتم به رله تزریق شده است. در این آزمون ها مقدار مولفه اصلی ۵۰ هرتز از مقداری افزایش داده شده تا رله بر روی مقدار مشخصی پیکاپ کند. در آزمون زمان عملکرد، در یک آزمون مولفه اصلی جریان با مقدار RMS ۱۸ آمپر (دو برابر تنظیم رله) و بدون مولفه هارمونیک و در آزمون های دیگر همان مقدار مولفه اصلی با وجود مولفه هارمونیک مرتبه پنجم یا هفتم با مقدار RMS ۴ و ۸ آمپر به رله تزریق شده و زمان عملکرد رله ها اندازه گیری شده است. واحد اضافه جریان در رله نیومریک جریانی ABB سه روش محاسبه برای جریان ارائه می نماید. روش های DFT (تبدیل فوریه گسسته)، RMS و Peak-to-Peak سه روش ارائه شده در این رله هستند [۲]. آزمون های پیکاپ و زمان عملکرد برای رله ABB برای هر سه روش اندازه گیری بیان شده تکرار شده اند. نتایج آزمون های پیکاپ و زمان عملکرد در جداول ۱ و ۲ ارائه شده اند.

نتایج آزمون پیکاپ نشان می دهد در کلیه تست ها با وجود مولفه هارمونیک به غیر از حالت DFT رله ABB آستانه پیکاپ رله ها کاهش یافته است. حالت Peak-to-Peak در رله ABB نسبت به سه روش دیگر این رله بیشترین کاهش را با وجود مولفه هارمونیک از خود نشان می دهد. اما رله TAS نسبت به هر سه حالت رله ABB کاهش بیشتری در مقدار پیکاپ از خود نشان داده است.

در نتایج تست آزمون عملکرد نیز مشابه نتایج پیکاپ اثر مولفه هارمونیک بر عملکرد دو رله قابل مشاهده است. رله TAS بیشترین اثر را در خصوص کاهش زمان عملکرد از خود نشان می دهد و در حالت DFT