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

علی عمادی[۱]، مسیح فهیمی[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 ازچالش 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 هارمونیکی به این دو رله استاتیک و نیومریک نیز ارائه شده است.

کلمات کلیدی

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

۱- مقدمه

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 هارمونیکی و بعبارت دیگر تشدید هارمونیکی از مهمترین این چالش هاست [۱].

یک حادثه تشدید زمانی اتفاق می افتد که فرکانس مولفه های هارمونیکی موجود در جریان بار فیدرهای خروجی ایستگاه به محدوده فرکانس تشدید شبکه نزدیک بوده و دامنه آن ها افزایش یابد. در این شرایط، جریان خازن شامل جریان های هارمونیکی 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.

در این راستا در این مقاله مطالعاتی بر روی آمار حوادث خودکار خازن ناشی از تشدید، فرکانس تشدید در بانک های خازنی و پاسخ رله های استاتیک و نیومریک در رخداد های تشدید با جریان های هارمونیکی انجام شده که نتایج آن در بخش های بعدی مقاله ارائه خواهد شد.

۲- ریشه یابی علت وقوع حوادث تشدید بانک های خازن

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

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \qquad (۱)$$

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

$$L = \frac{V_{LL}^2 (U_{k\%}/100)}{2\pi f_0 S_T} \qquad (۲)$$

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 (Q_C) بصورت زیر بدست می آید:

$$C = \frac{Q_C}{2\pi f_0 V_{LL}^2} \qquad (۳)$$

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

$$f_r = f_0 \sqrt{\frac{S_T}{(U_{k\%}/100) Q_C}} \qquad (۴)$$

مقدار $U_{k\%}$ در ترانسفورماتورهای فوق توزیع در محدوده ۱۳ درصد است. با توجه به اینکه هارمونیک های غالب بار در شبکه توزیع هارمونیک های فرد مرتبه پایین (عمده آن پنجم و هفتم) هستند، در صورتی که فرکانس تشدید به محدوده این هارمونیک ها نزدیک باشد، احتمال قطع خازن بعلت 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 می شود.

فرکانس تشدید بر اساس رابطه (۴) برای کلیه ایستگاه های فوق توزیع تحت پوشش بدست آمد تا ارتباط منطقی بین حوادث قطع خازن ناشی از تشدید و مقدار فرکانس تشدید پایه گذاری گردد. انتظار می رود در ایستگاه هایی که فرکانس تشدید مقدار کوچک تری باشد حوادث تشدید نیز به وقوع پیوسته باشد. نتایج نشان می دهد در ایستگاه هایی که نسبت f_r/f_0 به اندازه کافی از هارمونیک هفتم بزرگ تر است، حوادث تشدید رخ نداده است؛ اما رابطه معنی داری بین تعداد حوادث و فرکانس تشدید در ایستگاه های تحت پوشش وجود ندارد.

علت آمار بالاتر حوادث تشدید در برخی ایستگاه ها می تواند نوع عملکرد رله منصوبه باشد. در صورتی که تعداد حوادث تشدید خازن بر اساس برند رله های منصوبه بر روی خازن ها دسته بندی شود، تعداد حوادث تشدید در مورد برخی برند های رله بصورت محسوسی از سایر برند ها بیشتر است. در این مورد خاص رله های استاتیک TAS ساخت شرکت GEC ALSTHOM دارای بیشترین عملکرد در بین سایر رله ها بودند.

با توجه به تعداد قابل توجه رله های TAS در ایستگاه های تحت پوشش، و عملکرد قابل توجه آن ها در حوادث تشدید انجام مطالعاتی بر روی نحوه عملکرد این رله ها در شرایط هارمونیکی قابل توجیه خواهد بود. بر اساس آزمون های انجام شده، آستانه پیکاپ و زمان عملکرد رله های TAS در جریان های دارای مولفه هارمونیکی بطور محسوسی کاهش می یابد. در رله های نیومریک با توجه به منطق اندازه گیری 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 ظرفیت های بالاتر خازن اجتناب ناپذیر است.

راهکار دیگر استفاده از رله های نیومریک بر روی فیدرهای بانک خازن بجای رله های TAS است. در اینجا برای حل مسئله قطع ناخواسته خازن ها بعلت تشدید، رله های TAS برکنار و با رله های REF615 ساخت شرکت ABB جایگزین شدند. قبل از تعویض رله ها میانگین سه ساله حوادث، ۵/۷ حادثه در سال بر روی این بانک های خازن بوده است. بعد از تعویض رله ها تعداد این حوادث به صفر مورد در سال کاهش یافت.

برای درک علت عملکرد نامطلوب رله های TAS در حوادث تشدید، یکی از رله های اضافه جریان برکناری TAS6445AA مورد آزمایش اضافه جریان با مولفه های هارمونیکی قرار گرفت و نتایج با عملکرد رله نیومریک از نوع ABB REF615 مقایسه شده است. آزمون ها شامل آزمون پیکاپ و زمان عملکرد هستند.

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

شماره آزمون	مرتبه هارمونیک	دامنه (آمپر)	مقدار پیکاپ رله برای مولفه اصلی (آمپر)			
			رله TAS	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 هارمونیکی (آمپر)	زمان عملکرد رله (ثانیه)			
			رله TAS	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

مقادیر جریان و TMS هر دو رله بترتیب بر روی ۹ آمپر و ۰/۱ ثانیه تنظیم شده اند. در آزمون پیکاپ جریان مولفه اصلی یک بار بدون وجود مولفه هارمونیکی و و در دو آزمون دیگر با وجود مولفه هارمونیکی با مقدار RMS ۴ آمپر از مرتبه های پنجم و مربته 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 آزمون اول، مولفه اصلی جریان با مقدار RMS ۱۸ آمپر (دو برابر تنظیم رله) و بدون مولفه هارمونیکی و در آزمون های دیگر همان مقدار مولفه اصلی با وجود مولفه هارمونیکی مربته 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 هارمونیکی 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 هارمونیکی 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 هارمونیکی 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 رله ABB، تاثیری بر روی زمان عملکرد رله دیده نمی شود. افزایش دامنه جریان هارمونیکی با مقدار ۸ آمپر نسبت به ۴ آمپر، تاثیر بیشتری بر روی 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 هارمونیکی 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 هارمونیکی نمی توان 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