بررسی علل بروز حوادث در بانکهای خازنی و ارائه روشهای جدید حفاظتی

نویسنده : مهندس رضا فرهادی

مقدمه ای بر ساختار داخلی خازن:

خازن بیشتر در قسمت لایه‌ها و یا در قسمت محفظه خارجی(ترک برداشتن و روغن پس دادن) عیب پیدا می‌کند. علت پیدایش این خطاها را اگر از نقص فنی اولیه آن هنگام ساختن صرف‌نظر کنیم، می‌توان در اثر حرارت زیاد از حد جستجو کرد. حرارت زیاد اغلب در اثر هارمونیهای بیش از حد موجود در شبکه و یا در اثر ازدیاد دائمی ولتاژ شبکه (برای مثال تنظیمات رله AVR در پستهای فوق توزیع معمولاً بالاتر از ولتاژ نامی‌تنظیم می گردد. بدلیل ملاحظات افت ولتاژ در خطوط بلند توزیع) و یا در صورتیکه خازن در هوای آزاد قرار دارد در اثر تابش مستقیم آفتاب بوجود می آید.

اگرخطاهائی که در لایه پیش می‌آید هر چه زودتر سنجیده و مشخص نشود و درصورت امکان قسمت خطا دیده مرمت و یا تعویض نشود پس از مدت کوتاهی خازن دچار یک اتصالی شدید خواهد شد.

حفاظت لایه :

در خازن‌های فشار ضعیف معمولاً بین لایه‌ها از فیوزهای مخصوص استفاده می‌شود. دراین صورت هنگام اتصال کوتاه لایه، پاکت لایه خطا دیده ازمدار خارج می‌شود. ظرفیت خازن دراین حالت قدری کوچکتر می‌شود ولی خازن هنوز می‌تواند تا مدتی در مدار باقی بماند و مورد استفاده قرار گیرد.

در خازن‌های فشار متوسط معمولاً از فیوز بین پاکت لایه‌ها استفاده نمی‌شود، بلکه ازفیوزهای خارجی (External Fuse) استفاده می‌گردد که جریان نامی آن بدلیل ملاحظات جریان هجومی، رزونانس و اضافه ولتاژ معمولاً ۱.۵ برابر جریان نامی سلول انتخاب می‌گردد.

باکمی‌تامل می توان دریافت که این فیوزها، خازن را در برابر خطاهای داخلی کوچک محافظت نمی‌کنند و تنها درزمان اتصالی‌های شدید که خازن تقریباً آسیب جدی دیده است عملکرد دارند.

فشار داخلی محفظه خازن در اثر عبور جریان اتصال کوتاه و ازدیاد درجه حرارت بالا می‌رود. برای حفاظت خازن در مقابل ازدیاد فشار داخلی، فشار را توسط فشارسنج کنترل می‌کنند. این وسیله می‌تواند در مواقع بحرانی بطور خودکار خازن را ازشبکه برق جدا کند.

از آنجایی که اضافه بار عامل اصلی خطاهای داخلی خازن مـی باشـد، دسـتگاهی کـه بتوانـد درجه حرارت داخل خازن را بطور دقیق کنترل کند، بسنجد و بتواند اضافه بار را در حرارت‌های مختلف تنظیم کند بسیار قابل اهمیت و پر ارزش می‌باشد.

در گذشته دو روش برای حفاظت اضافه بار بکار برده می‌شد:

الف: حفاظت توسط کپسول استی

کپسول استی در گرمترین قسمت محفظه خازن که اغلب علامت گذاری شده نصب می‌شود و درجه حرارت خازن را کنترل می‌کند. این دستگاه ساده گرچه خیلـی دقیـق نمـی‌باشـد ولـی تجربه نشان داده که وسیله قابل اطمینان برای حفاظت اضافه بارخازن می‌باشد.

ب: رله جریان زیاد

برای خازن‌های فشارضعیف در مقابل اضافه بار اغلب از رله بـی متـال کـه در کلیـد خودکـار موتوری نصب شده استفاده می‌شود. درخازن‌های فشار متوسط می‌توان به جای رله بـی‌متـال از رله حرارتی استفاده کرد، البته باید دانست که این رله‌ها نمی‌توانند خیلی دقیق باشند و منحنی مشخصه قطع آنها هیچ گاه با درجه حرارت داخلی خازن قابل تطبیق و تنظیم نیست.

امروزه در اکثر رله‌های حفاظتی جریان زیاد نیومریک فانکشن اضافه بار (Thermal Over Load) با کد Ansi ۴۹ وجود دارد که برای نمونه می‌توان بـه رلـه‌هـای Spaj ۱۶۰C سـاخت ABB، رله‌هـای Micom P۱۲۲,P۱۲۳ سـاخت Areva و رلـه‌هـای سـری ۶xx Sj۷ سـاخت زیمنس اشاره کرد.

حال مختصری راجع به این فانکشن حفاظتی و نحوه کارکرد آنها اشاره خواهیم داشت.

همانطور که می دانیم طولانی شدن اضافه بار می‌تواند منجر به زوال پیش ازموعد عایق و یـا در مـوارد حـادتر تخریـب کلـی عـایق گردد.گرمـای تجهیـزات الکتریکـی مثـل کابـل‌هـا، ترانسفورماتورهای خشک، بانک‌های خازنی و ... ازنـوع اهمـی مـی‌باشـد (RI^2) بنـابراین میـزان گرمای تولید شده بطور مستقیم با مربع جریان نسبت دارد. بر این اساس یعنی مربع جریـان و مجموع زمان، مشخصه زمان حرارتی رله‌ها بدست می‌آید.

رله‌های Micom P۱۲۲,P۱۲۳ بصورت خودکار ازبزرگترین جریـان فـاز ورودی بـه عنـوان اطلاعات ورودی مدل حرارتی خود استفاده مـی‌کننـد. تجهیـز مـورد حفاظـت طـوری طراحـی می‌شود تا بتواند در یک درجه حرارت که مطابق با جریـان نـامی آن اسـت بصـورت دائـم کـار کند(در صورتیکه گرمای تولید شده بتواند پراکنده و تعدیل شود).

شرایط اضافه درجه حرارت زمانی رخ می دهد که در یک پریود خاص اجازه افزایش پیداکند. می‌توان نشان داد که افزایش درجه حرارت هنگام گرم شدن ازیک ثابت زمانی نمائی پیروی می‌کند و بطور مشابه هنگام خنک شدن نیز بصورت نمائی کاهش می‌یابد.

بمنظوراعمال این المان حفاظتی، ثابت زمانی حرارتی (Te) تجهیز مورد حفاظت نیاز می‌باشد.

لازم بذکر است که تجهیزات مختلف با توجه به ساختارطبیعی خود مشخصه حرارتی مخصوص به خود را دارا می باشند . مشخصه زمانی حرارتی با معادله زیر نشان داده می‌شود.

$$e^{\frac{-t}{\tau}} = \frac{I^2-(K*I_{FLC})^2}{I^2-I_P^2}$$

t: زمان ترتیپ، مطابق با جریان اضافه بار (I)

τ: ثابت زمانی حرارتی یا سرمایشی تجهیز مورد حفاظت

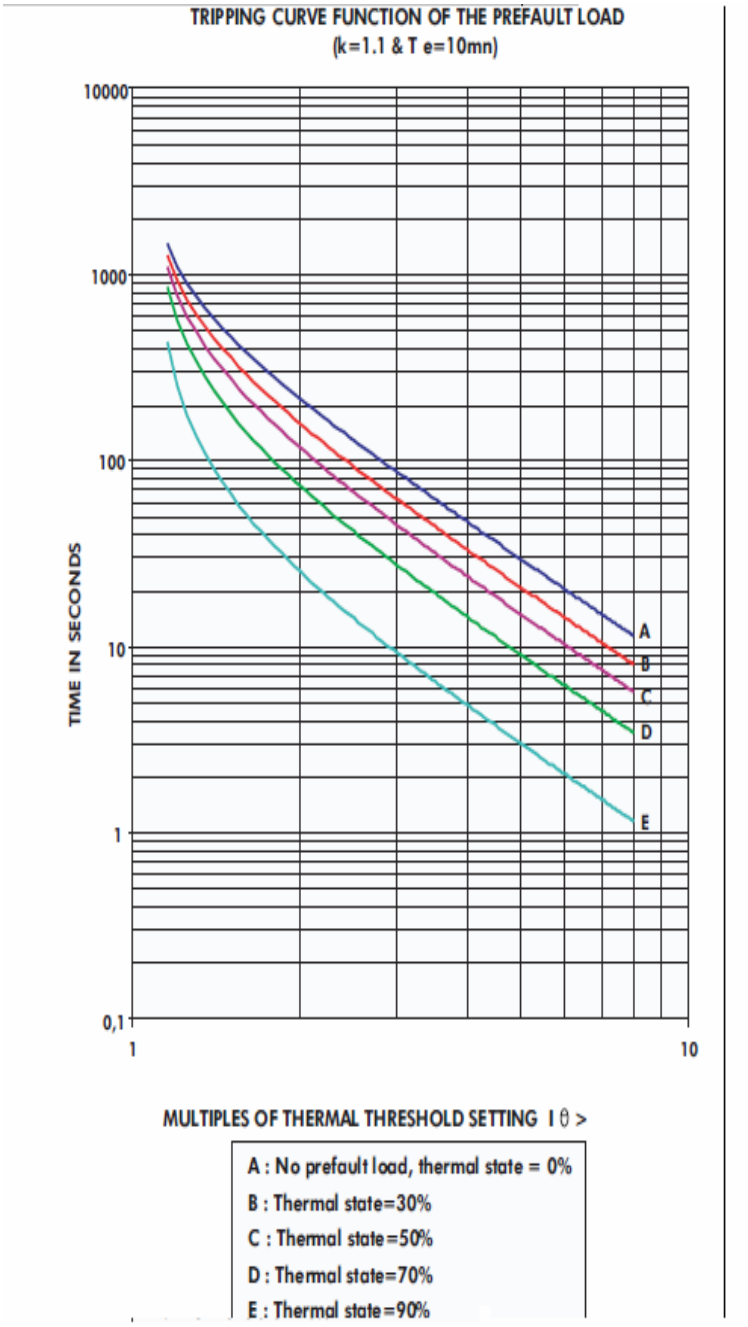
I: بزرگترین جریان فاز

Iflc: مقدار جریان بار نهائی (Fule Load Current)

K: ثابت ۱.۰۵ (اجازه می دهد تا کمتر از Iflc ۱.۰۵ عملکرد دائم داشته باشیم)

Ip: جریان حالت پایدار قبل از اعمال اضافه بار

زمان تریپ با توجه به مقدار جریان زیاد بار قبل از اضافه بار (Over Load) متفاوت است. منحنی مشخصه اضافه بار حرارتی مطابق شکل زیر بازای τ=۱۰ min و K=۱.۱ مشاهده می‌گردد.


TRIPPING CURVE FUNCTION OF THE PREFAULT LOAD
(k=1.1 & T e=10mn)
10000
1000
100
10
1
0,1
TIME IN SECONDS
1
10
A
B
C
D
E
MULTIPLES OF THERMAL THRESHOLD SETTING I θ >
A : No prefault load, thermal state = 0%
B : Thermal state=30%
C : Thermal state=50%
D : Thermal state=70%
E : Thermal state=90%

زمان تریپ طبق فرمول ریاضی زیر توسط رله‌های Micom محاسبه می‌گردد.

$$T_{trip} = T_e \ Ln \left[\frac{|k^2 - \Theta|}{|k^2 - \Theta_{trip}|} \right.$$

Ttrip: زمان تریپ(به ثانیه)

Te: ثابت زمانی حرارتی (به ثانیه)

K: اضافه بار حرارتی که برابر است با $K=Ieq/kI\theta$

Iθ: مقدار جریان فول بار که توسط استاندارد و یا سازنده ارائه می‌گردد

k: فاکتور اضافه بار

Θ: وضعیت حرارتی اولیه . اگر وضعیت حرارتی اولیه برابر ٪۳۰ باشد آنگاه ۰.۳ = Θ

Θtrip: وضعیت حرارتی تریپ. اگر وضعیت حرارتی تریپ برابر٪۱۰۰باشد آنگاه ۱ = Θ

محاسبه وضعیت حرارتی (Θ) توسط فرمول زیر انجام می‌پذیرد.

$$\Theta_{\tau_{+1}} = \left[\frac{I_{eq}}{K * I_{\theta >}} \right]^2 \left[1 - e^{\frac{-t}{\tau}} \right] + \Theta_{\tau} \ e^{\frac{-t}{\tau}}$$

* Θ هر ۲۰ms محاسبه می گردد.

در جدول ذیل ثابت زمانی حرارتی برخی ازتجهیزات آورده شده است.

Rating ‹۴۰۰KVA Rating ۴۰۰-۸۰۰KVA	Time Constant(min)	
	۴۰ ۶۰-۹۰	Dry Type Transformer
	۴۰	Air Core Reactors
	۱۰	Capacitor Banks
	۱۰	Over Head Lines
	۶۰	Bus Bars

بررسی وضعیت موجود:

با بررسی به عمل آمده بر روی فیدرهای خازن موجود در پستهای فوق توزیع مشخص گردید که کلیه رله‌های حفاظتی نصب شده بر روی فیدرها اعم از رله‌های۷sj۶۲۲ (حفاظت OC/EF) و رله‌های ۷sj۶۰۰ (حفاظت U.B)- مربوط به پروژه‌های شرکت ایران سوئیچ – دارای فانکشن حفاظتی Thermal Over Load می باشد.البته لازم بذکر است در فیدرهای خازنی قدیمی ازرله‌های نسل قدیم استفاده شده که دارای این فانکشن حفاظتی نمی‌باشند.

همچنین در پروژه‌های جاری خازن گذاری که توسط شرکت بهسو نیرو در حال انجام است از رله‌های۱۲۲P Micom استفاده شده که فانکشنThermal Over Load را دارا می‌باشند.

پیشنهادات:

با توجه به تحقیقات بعمل آمده و تجارب ناشی از حوادث خازن پیشنهاد می‌گردد ضمن رایزنی با شرکت ایران سوئیچ، مقادیر گارانتی شده آن سازنده درارتباط با مقادیر اضافه ولتاژ و اضافه جریان قابل تحمل حالت دائم، نقطه کار حرارتی با توجه به شرایط محیطی و همچنین آخرین نتایج مربوط به تایپ تست یونیتهای خازنی از آن شرکت اخذ گردد تا بتوان بامساعدت و همکاری آن معاونت محترم تنظیمات لازم جهت این فانکشن حفاظتی را ارائه نمود.

همچنین در صورت امکان ارائه گزارش کاملی از رفتار یونیتهای خازنی و میزان آسیب پذیری آنها در اثر ولتاژهای هارمونیک توسط سازنده، می‌تواند ما را در بهره‌برداری اصولی‌تر و مواجه شدن با حوادث کمتر که موجب اخلال در امر بهره‌برداری و ضرر و زیان مادی می‌گردد، یاری نماید.