

فرورزونانس در شبکه‌های توزیع و تاثیر آن بر برقگیرهای ZnO

جواد ساده

محمد فرشاد

استادیار

دانشجوی کارشناسی ارشد

گروه برق، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد

واژه‌های کلیدی: فرورزونانس، شبکه‌های توزیع، برقگیر ZnO، آسیب حرارتی

چکیده:

فرورزونانس پدیده‌ای است که می‌تواند در تمام سطوح ولتاژ سیستم قدرت رخ دهد. وقوع پدیده فرورزونانس در شبکه‌های توزیع زیرزمینی به دلیل وجود کابل با خاصیت خازنی همراه با ترانسفورماتور با هسته اشباع پذیر و همچنین استفاده از حفاظت‌های با عملکرد تکفاز مانند فیوز، امری محتمل است. در شبکه‌های توزیع ممکن است پدیده فرورزونانس تداوم بیشتری داشته باشد. اکثراً در شبکه‌های توزیع در سمت ۲۰ کیلوولت برای حفاظت ترانسفورماتور در مقابل صاعقه از برقگیرهای ZnO استفاده می‌کنند. در هنگام وقوع فرورزونانس از این برقگیرها جریان‌های ناشی عبور خواهد کرد، و مسئله تحمل حرارتی برقگیر مطرح می‌گردد. در این مقاله، با توجه به نمودار مربوط به توانایی جذب انرژی و ریستور برای چگالی جریان معین، مقدار انرژی که برقگیر مورد مطالعه می‌تواند در طی وقوع پدیده فرورزونانس در شبکه توزیع تحمل کند، بدست آمده و با استفاده از آن، زمان آسیب حرارتی برقگیر تخمین زده شده است.

۱-مقدمه:

فرورزونانس می‌تواند در مدارهای سری یا موازی رخ دهد. پدیده فرورزونانس بر اساس تغییرات سیگنالهای جریان و ولتاژ به چهار نوع تقسیم‌بندی می‌شود [۵]:

الف) مد پایه (Fundamental mode):

در این مد فرکانس تغییرات ولتاژ و جریان برابر فرکانس شبکه (f_0) است. که سیگنالهای ولتاژ و جریان می‌توانند شامل هارمونیک‌های با فرکانس ($f_0, 2f_0, 3f_0, \dots$) باشند.

ب) مد زیر هارمونیک (Subharmonic mode):

در این مد سیگنالهای ولتاژ و جریان می‌توانند شامل هارمونیک‌های با فرکانس ($f_0, \frac{f_0}{n}, \frac{f_0}{n-1}, \dots$) باشند (f_0 فرکانس شبکه می‌باشد).

ج) مد شبه تناوبی (Quasi-periodic mode):

در واقع در این مد تغییرات سیگنالهای ولتاژ و جریان پریودیک نیست. فرکانس‌های هارمونیک ولتاژ و جریان به فرم $mf_1 + nf_2$ بیان می‌شوند، که m و n اعداد صحیح بوده

عملیات کلید زنی بانک‌های خازنی و خطوط و با ترانسفورماتورهای بی‌بار، شکست عایقی تجهیزات شبکه و با صاعقه، می‌توانند هر کدام باعث راه‌اندازی پدیده فرورزونانس شوند.

۲- برقگیرهای ZnO:

یکی از تجهیزات که در هنگام رخداد پدیده فرورزونانس در معرض آسیب می‌باشند، برقگیرها هستند. برقگیرها تجهیزات هستند که برای حفاظت عایقی تجهیزات الکتریکی در مقابل اضافه ولتاژهای ناشی از صاعقه و یا کلیدزنی به کار می‌روند.

برقگیرهای ZnO از المانهای مقاومتی، شامل ترکیبی از اکسید روی و اکسید فلزات دیگر، تشکیل شده‌اند. دیسکهای ورستور معمولاً از نظر اندازه دو نوع می‌باشند [۲]. ولی این مقادیر اندازه می‌تواند با توجه به کارخانه سازنده و نوع طراحی اعمال شده متفاوت نیز باشد. انواع معمول از نظر اندازه بصورت زیر هستند:

الف) قطر ۳۲ میلی‌متر و ارتفاع ۴۵ میلی‌متر، که در برقگیرهای بخش توزیع استفاده می‌شوند.

ب) قطر ۶۳ میلی‌متر و ارتفاع ۲۳ میلی‌متر، که در برقگیرهای پست‌های فشار قوی استفاده می‌شوند.

در طراحی برقگیرهای ZnO باید به انتقال حرارت از دیسک های ZnO به محیط اطراف توجه کرد. در برقگیرهای ZnO چون فاصله هوایی نداریم، المانهای مقاومتی بطور دائم تحت ولتاژ فاز به زمین قرار دارند. پس از اعمال ولتاژ به برقگیر، مقدار معینی حرارت در نتیجه عبور جریان ناشی تولید می‌شود. این مقدار حرارت موجب افزایش دمای قرص برقگیر می‌شود. اگر ولتاژ اعمال شده مناسب باشد، تولید حرارت با حرارت دفع شده از قرص متعادل شده و درجه حرارت به تعادل می‌رسد. ولی اگر ولتاژ اعمال شده از حد معینی بالاتر رود، این موازنه بهم خورد و درجه حرارت بطور پیوسته افزایش می‌یابد و متعاقباً مقدار جریان ناشی نیز زیاد می‌شود، که خود افزایش دما را تسریع می‌کند. تا آنکه فروپاشی حرارتی قرص برقگیر به دلیل افزایش غیر مجاز دما

و $\frac{f_1}{f_2}$ کسر غیر گویا می‌باشد. مثلاً سیگنالهای ولتاژ و جریان می‌توانند شامل هارمونیک‌های با فرکانس $(f_2 - f_1, f_1, f_2, 3f_1 - f_2, \dots, nf_1 + mf_2)$ باشند. (د) مد آشفته (Chaotic mode):

در این مد تغییرات سیگنالهای ولتاژ و جریان کاملاً بی‌نظم است و اگر تحلیل هارمونیک صورت گیرد، مشخص می‌شود که امواج برای همه فرکانس‌ها بصورت پیوسته وجود دارند. فرورزونانس در سیستم‌های قدرت ممکن است نتایج زیر را به همراه داشته باشد [۵]:

- اضافه ولتاژهای دائمی فاز به فاز یا فاز به زمین

- اضافه جریانهای دائمی

- اعوجاج دائمی شکل موج‌های جریان و ولتاژ

- تغییر ولتاژ نقطه صفر

- اضافه دمای ترانسفورماتور (در بهره‌برداری بی‌بار)

- صدای پیوسته و بسیار بلند در ترانسفورماتورها و

راکتورها

- آسیب تجهیزات الکتریکی مانند بانک خازنی، برقگیر،

CVT، VT و... بر اثر شکست عایقی و یا اضافه دما

- عملکرد غیر منتظره تجهیزات حفاظتی

البته ممکن است بعضی از وقایع بالا بر اثر اتفاقاتی به جز فرورزونانس نیز رخ دهد. مثلاً تغییر ولتاژ نقطه صفر در یک سیستم زمین نشده ممکن است در اثر یک اتصال کوتاه تکفاز به زمین رخ دهد.

تجربه نشان داده است که خطر وقوع فرورزونانس در حالات زیر بیشتر است:

الف) هنگامی که ترانسفورماتور ولتاژ در یک سیستم با نوترال ایزوله، متصل بین فاز و زمین باشد.

ب) هنگامی که ترانسفورماتور بوسیله خط بلند و یا خازنی تغذیه شود.

ج) هنگامی که ترانسفورماتور بی‌بار و یا کم‌بار برقرار گردد.

د) هنگامی که حفاظت توسط فیوز انجام شود.

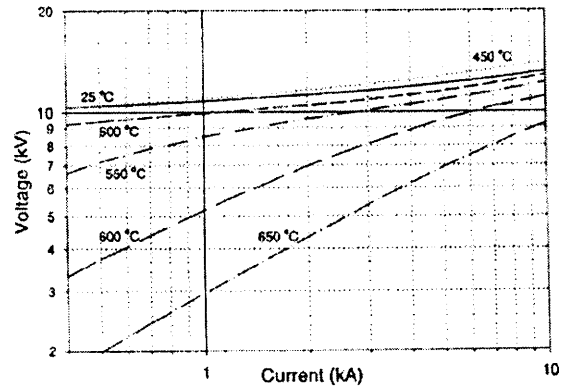
جدول ۱: ماکزیمم توانایی تحمل انرژی برقگیرهای ZnO

Arrester Class Rating (KV)	توانایی تحمل انرژی	
	KJ/KV of Rating	KJ/KV of MCOV
2.7 - 48	4.0	4.9
54 - 360	7.2	8.9

در سیستمهای توزیع زمینی هنگامی که از برقگیر برای حفاظت ترانسفورماتور استفاده می‌کنیم، در صورت وقوع پدیده فروزرانانس و استمرار این پدیده ممکن است برقگیر دچار فروپاشی حرارتی شود. چون برقگیر در این حالت طی مدت زیادی تحت ولتاژی بالاتر از ولتاژ کار دائم قرار می‌گیرد، جریان نشتی نیز در آن افزایش می‌یابد. ولی نکته‌ای که حائز اهمیت می‌باشد این است که برای برقگیرهای ZnO مورد استفاده در سیستمهای توزیع، توانایی تحمل انرژی (جدول ۱)) معمولاً برای جریانهای تخلیه با دامنه بالا و مدت زمان کم تعیین می‌شود، و این در حالی است که در زمان وقوع فروزرانانس دامنه جریان تخلیه کمتر و مدت زمان عبور این جریان طولانی‌تر است و در این زمان نسبتاً طولانی تبادل حرارتی بین قرصهای ZnO و محیط نیز انجام می‌گیرد و از طرفی نیز قرصهای ZnO طی مدت بیشتری تحت اضافه دما قرار می‌گیرند که مسئله پیری قرصهای ZnO مطرح می‌گردد. بنابراین مقادیر بیان شده در جدول (۱) برای توانایی تحمل انرژی برقگیر، در این حالت قابل استناد نمی‌باشند.

مدلی در مرجع [۸] برای تخمین دمای ورستور ارائه شده است. این مدل یک مدار معادل الکتریکی است که در شکل (۲) نشان داده شده است. یک برقگیر ZnO از دیسکهای ورستور تشکیل شده است که معمولاً اطراف آنها را پرسلین در بر گرفته است. بین دیسک و پرسلین هوای خشک وجود دارد. با توجه به این مشخصه فیزیکی برقگیر، یک مدار معادل که شامل دو خازن، دو مقاومت و دو منبع ولتاژ می‌باشد، پیشنهاد شده است. در این مدار معادل (شکل (۲)) Th و Te نشان‌دهنده دمای دیسک ZnO و پرسلین، Ce و Ch ظرفیت حرارتی دیسک ZnO و پرسلین، Reh مقاومت حرارتی بین دیسک و پرسلین و Rha مقاومت حرارتی بین پرسلین و محیط می‌باشد، و P(t) نیز مبین منبع حرارتی است.

اتفاق می‌افتد. نمودار شکل (۱) از اندازه‌گیری مشخصه ولتاژ-جریان یک برقگیر در دمای بین ۲۵ تا ۶۵۰ درجه سانتی‌گراد بدست آمده است و تغییرات مشخصه V-I برقگیر بر حسب تغییرات دما را نشان می‌دهد [۳].



شکل ۱: نمودار تغییرات مشخصه V-I برقگیر بر حسب تغییرات دما

از مشخصه‌های بسیار مهم یک برقگیر، ماکزیمم توانایی تحمل انرژی آن است که بر حسب KJ/KV بیان می‌شود. جدول (۱) ماکزیمم توانایی تحمل انرژی برقگیرهای ZnO را نشان می‌دهد. می‌توانیم برای بدست آوردن توانایی تحمل انرژی یک برقگیر خاص، بر حسب کیلو ژول، با توجه به کلاس برقگیر (با توجه به ولتاژ نامی برقگیر) عدد متناظر را از جدول (۱) انتخاب نموده و در MCOV و یا در ولتاژ نامی برقگیر ضرب کنیم [۶].

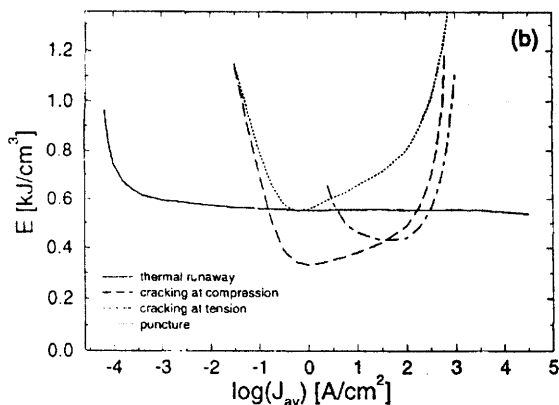
در برقگیرها احتمال وقوع سه نوع عمده از آسیب‌ها وجود دارد [۲]:

الف) ناپایداری حرارتی، که ناشی از تجاوز دمای برقگیر از ماکزیمم دمای مجاز پایداری (حدود ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد) می‌باشد.

ب) سوراخ شدن موضعی دیسک (Puncture)، که در اثر تمرکز جریانهای بالا در یک مسیر و بالا رفتن دمای نقطه داغ تا حدود ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد رخ می‌دهد.

ج) ترکیدن برقگیر (Cracking)، که بر اثر گرم شدن غیر یکنواخت برقگیر و بالا رفتن فشار و تنش ماده، از حد مجاز تنش رخ می‌دهد.

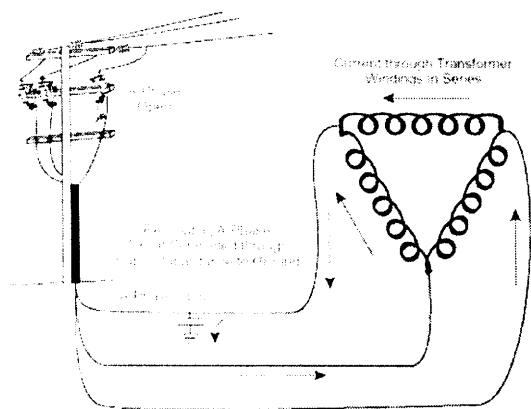
مطالعاتی که بر روی اثر فرورزونانس سیستمهای توزیع بر برقگیرها انجام شده است، نشان داده است که در فرورزونانس‌هایی که منجر به اضافه ولتاژهایی بالای ۱.۸ پرینیت می‌شوند، احتمال فروپاشی حرارتی برقگیر ZnO وجود دارد. و در فرورزونانس‌هایی که منجر به اضافه ولتاژهایی کمتر از ۱/۵ پرینیت می‌شوند، در اکثر موارد برقگیرها تا ۳ دقیقه تحمل حرارتی کافی را دارند و آسیبی نخواهند دید. البته این موضوع کاملاً وابسته به کارخانه سازنده، نمودار V-I و ولتاژ زانویی انتخاب شده برای برقگیر، می‌باشد [۹].



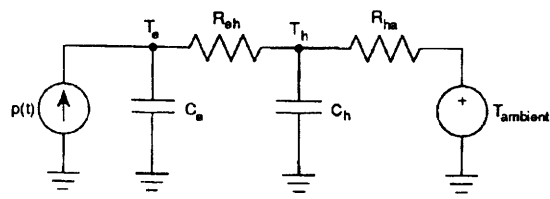
شکل ۳: مقادیر توانایی جذب انرژی ورستور بر حسب چگالی جریان متوسط، در حالت‌های مختلف آسیب برقگیر

۳- نتایج شبیه‌سازی پدیده فرورزونانس:

اکنون می‌خواهیم وقوع پدیده فرورزونانس را در یک شبکه توزیع زیر زمینی بررسی کنیم.



شکل ۴: شمای شبکه مفروض



شکل ۲: مدار معادل مدل حرارتی برقگیر ZnO

استفاده از این مدل (شکل (۲)) سه مشکل را به همراه دارد. اولاً با استفاده از این مدل تنها می‌توان پایداری حرارتی برقگیر را بررسی نمود و این مدل دمای نقطه داغ برقگیر و یا مقدار تنشهای حرارتی را به ما نمی‌دهد. ثانیاً پارامترهای حرارتی برقگیر وابسته به تغییرات دما می‌باشد و یک رابطه غیر خطی با دما دارد. البته بدلیل اینکه ماکزیمم دمای مجاز پایداری حرارتی برقگیر در حدود ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد است، می‌توان تغییرات پارامترهای حرارتی را خطی فرض نمود. ثالثاً بدست آوردن پارامترهای این مدار معادل جهت شبیه‌سازی، مستلزم انجام تست آزمایشگاهی با تجهیزات دقیق و در محیط استاندارد می‌باشد، تا بتوان از طریق حداقل انجام یک تست و برازش نتایج به روشهای گوناگون، پارامترهای این مدار معادل را تخمین زد.

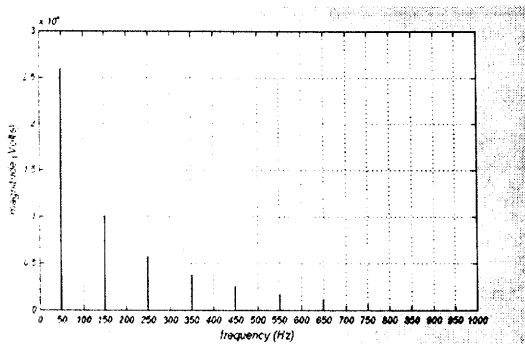
در مرجع [۲] با استفاده از روابط پیچیده انتقال حرارت، ماکزیمم قابلیت جذب انرژی تا رسیدن به ناپایداری حرارتی، Cracking و Puncture برقگیرهای ZnO در چگالی جریانهای متوسط مختلف برای ورستورهای کلاس توزیع محاسبه شده است. نتایج محاسبات در نمودار شکل (۳) آمده است. البته نباید این مقادیر توانایی جذب انرژی را با مقادیر بیان شده در جدول (۱) اشتباه کرد.

در نمودار شکل (۳) برای حالت Cracking، دو وضعیت Cracking در اثر نیروی فشردگی و در اثر نیروی کششی بررسی شده است.

همانطور که در نمودار شکل (۳) مشاهده می‌شود، برای رنج وسیعی از چگالی جریانهای متوسط، توانایی جذب انرژی تا رسیدن به مرحله ناپایداری حرارتی در حدود 550 J/cm^3 می‌باشد.

در لحظات اولیه، ولتاژ فاز A در سمت اولیه ترانسفورماتور به ۴۰۰۷۸ ولت نیز می‌رسد. اگر ولتاژ فاز A و C را در بازه زمانی طولانی تری بررسی کنیم، مشاهده می‌شود که در ادامه، ماکزیمم ولتاژ فاز کمی کاهش یافته و به ۳۸۲۶۷ ولت می‌رسد، ولی از این مقدار کمتر نخواهد شد.

نتایج تحلیل هارمونیک ولتاژ فاز A در سمت اولیه ترانسفورماتور، بعد از گذشت چند سیکل از وقوع فرورزونانس در شکل (۷) آمده است. از شکل (۷) می‌توان دریافت که فرورزونانس از نوع پایه می‌باشد.



شکل ۷: نتایج تحلیل هارمونیک ولتاژ فاز A، بعد از گذشت چند سیکل از وقوع فرورزونانس

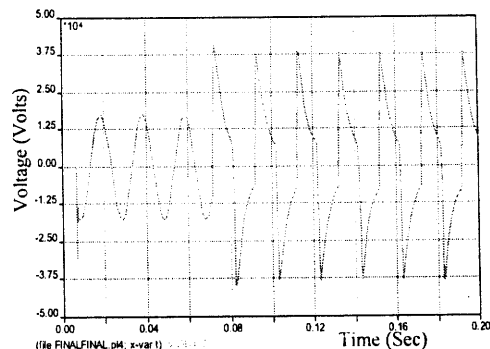
۴- نتایج شبیه‌سازی پدیده فرورزونانس همراه با برقگیر:

حال شبکه مفروض شکل (۴) را در حالی که اولیه ترانسفورماتور توسط برقگیر حفاظت می‌شود، بررسی می‌کنیم.

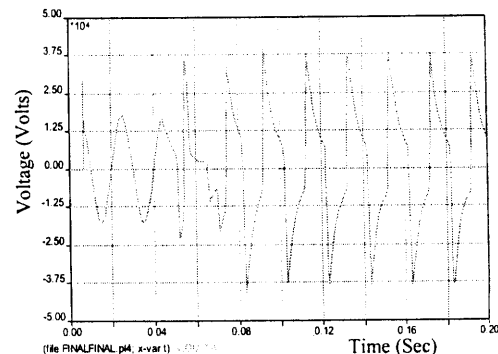
برقگیر ۲۴ کیلو ولت مورد استفاده، دارای ولتاژ کار دائم ۱۸/۵ کیلوولت است. در این حالت نیز ترانسفورماتور بی‌یار در $t=0.0067$ ، هنگامی که ولتاژ فاز B در حال عبور از صفر است، از طریق کابل زیرزمینی به منبع ۲۱/۵ کیلوولت متصل می‌گردد. فاز A در $t=0.044$ sec قطع می‌شود. اضافه ولتاژ ناشی از فرورزونانس در فاز A، در سمت اولیه ترانسفورماتور، رخ می‌دهد. سپس در $t=0.07$ sec فاز C قطع می‌شود. در پیامد این اتفاق، در سمت اولیه ترانسفورماتور، ولتاژ فازهای A و C در سمت اولیه ترانسفورماتور در شکل‌های (۸) و (۹) نشان داده شده است.

یک ترانسفورماتور توزیع ۲۰۰۰۰/۴۰۰ ولت را در نظر بگیرید که از طریق یک کابل زیر زمینی به طول ۱۱۰۰ متر تغذیه می‌شود. نمونه‌ای از این حالت را در شکل (۴) می‌بینیم. ترانسفورماتور دارای سیم پیچی و گروه برداری Dilyn می‌باشد.

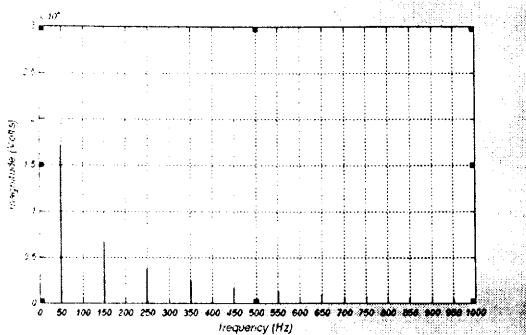
شبیه سازی در نرم‌افزار EMTP انجام شده است. ضمیمه شامل مدار شبیه سازی و اطلاعات سیستم می‌باشد. ترانسفورماتور بی‌یار در $t=0.0067$ ، هنگامی که ولتاژ فاز B در حال عبور از صفر است، از طریق کابل زمینی به منبع ۲۱/۵ کیلوولت متصل می‌گردد. فاز A در $t=0.044$ sec قطع می‌شود. اضافه ولتاژ ناشی از فرورزونانس در فاز A، در سمت اولیه ترانسفورماتور، رخ می‌دهد. سپس در $t=0.07$ sec فاز C قطع می‌شود. در پیامد این اتفاق اضافه ولتاژ در فاز C نیز ظاهر می‌گردد. ولتاژ فازهای A و C در سمت اولیه ترانسفورماتور در شکل‌های (۵) و (۶) نشان داده شده‌اند.



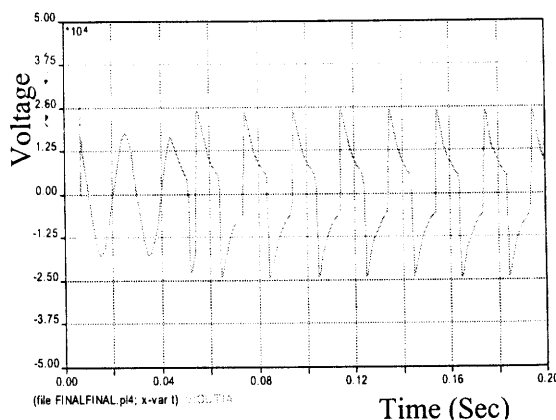
شکل ۵: ولتاژ فاز A در سمت اولیه ترانسفورماتور



شکل ۶: ولتاژ فاز C در سمت اولیه ترانسفورماتور

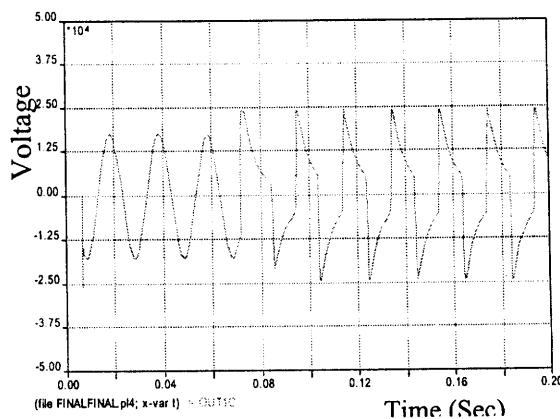


شکل ۱۰: نتایج تحلیل هارمونیک ولتاژ فاز A. بعد از گذشت چند سیکل از وقوع فرورزونانس در حالت وجود برقیگیر در سمت اولیه ترانسفورماتور

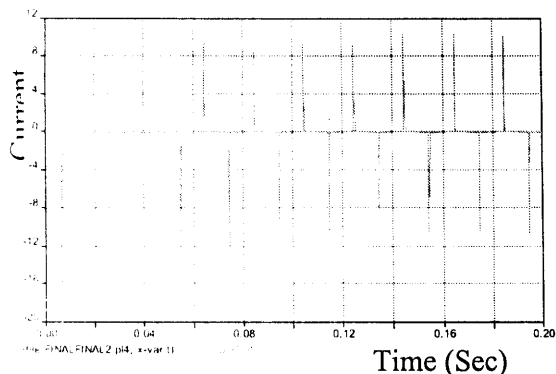


شکل ۸: ولتاژ فاز A در سمت اولیه ترانسفورماتور حفاظت شده توسط برقیگیر

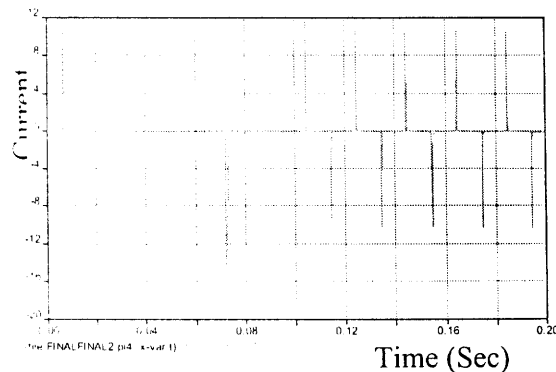
جریان عبوری از برقیگیرهای فازهای A و C در شکل‌های (۱۱) و (۱۲) نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، پیک جریان تخلیه برقیگیرهای فازهای A و C در لحظه اولیه وقوع فرورزونانس بیشتر است. پیک جریان تخلیه برقیگیر در حالت ماندگار وقوع فرورزونانس به حدود ۱۰٪ آمپر می‌رسد.



شکل ۹: ولتاژ فاز C در سمت اولیه ترانسفورماتور حفاظت شده توسط برقیگیر



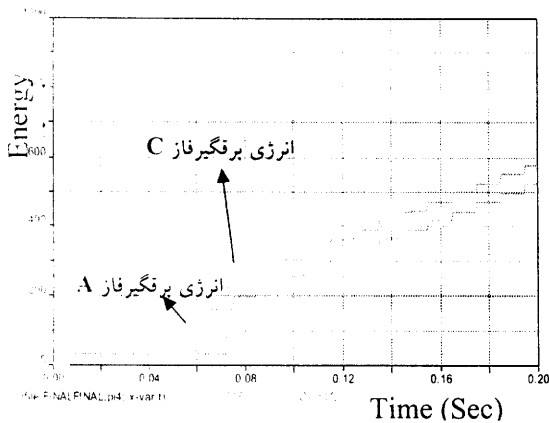
شکل ۱۱: جریان تخلیه برقیگیر فاز A



شکل ۱۲: جریان تخلیه برقیگیر فاز C

همانطور که مشاهده می‌شود، دامنه اضافه ولتاژهای فاز در این حالت بسیار کاهش یافته و دامنه ولتاژ فاز A از حدود ۲/۴ پریونیت در حالت بدون برقیگیر، به ۱/۵ پریونیت یعنی حدود ماکزیمم ولتاژ فاز به فاز در حالت وجود برقیگیر تقلیل یافته است. در لحظات اولیه، ولتاژ فاز A در سمت اولیه ترانسفورماتور به ۲۴۲۳۰ ولت نیز می‌رسد. اگر ولتاژ فاز A و C را در بازه زمانی طولانی تری بررسی کنیم، مشاهده می‌شود که در ادامه، ماکزیمم ولتاژ فاز کمی کاهش یافته و به ۲۴۱۴۳ ولت می‌رسد، ولی از این مقدار کمتر نخواهد شد.

نتایج تحلیل هارمونیک ولتاژ فاز A در سمت اولیه ترانسفورماتور حفاظت شده توسط برقیگیر، بعد از گذشت چند سیکل از وقوع فرورزونانس در شکل (۱۰) آمده است. از شکل (۱۰) می‌توان به سادگی دریافت که فرورزونانس در این حالت نیز از نوع پایه می‌باشد.



شکل ۱۳: انرژی جذب شده توسط برقگیرهای فاز A و C

در صورت تداوم پدیده فرورزونانس، انرژی جذب شده توسط برقگیر فازهای A و C در طی ۲۵ ثانیه به ۹۴۰۵۰ ژول و در طی ۲۱/۵ ثانیه به ۵۸۱۴۰ ژول می‌رسد. یعنی قبل از رسیدن به ناپایداری حرارتی و یا وقوع پدیده Puncture در برقگیر، برقگیر دچار Cracking خواهد شد.

۵- بحث و نتیجه‌گیری:

وقوع فرورزونانس در شبکه‌های توزیع زیرزمینی به دلیل وجود کابل با خاصیت خازنی همراه با ترانسفورماتور با هسته اشباع پذیر، امری محتمل است. همانطور که مشاهده کردیم یکی از مواردی که می‌تواند باعث راه‌اندازی فرورزونانس شود، تکفاز و یا دو فاز شدن سیستم است. اکثراً این اتفاق در شبکه‌های توزیع بدلیل استفاده از فیوز جهت حفاظت سیستم رخ می‌دهد. همانطور که در شبیه‌سازی مشاهده شد، دامنه اضافه ولتاژهای ناشی از فرورزونانس می‌تواند نسبت به حداکثر ولتاژ نامی سیستم بسیار بزرگ باشد، که این امر به سیستم عایقی صدمه خواهد زد و با توجه به مدت زمان تداوم این اضافه ولتاژ، ممکن است شکست عایقی رخ دهد. برای جلوگیری از تکفاز و یا دو فاز شدن سیستم می‌توان به جای فیوز از حفاظتهای سه فاز مانند رله اضافه جریان استفاده نمود، که البته با توجه به گستردگی و وسعت شبکه‌های توزیع، اقتصادی به نظر نمی‌رسد. راه آسانتر آن است که

آنچه در این شبیه‌سازی مد نظر قرار نگرفته است، تغییرات مشخصات الکتریکی برقگیر ZnO در اثر افزایش دما در صورت استمرار فرورزونانس می‌باشد. چون همانطور که قبلاً بیان شد، استمرار عبور جریان در برقگیر باعث افزایش دما می‌شود و خود افزایش دما نیز باعث تغییر مشخصه الکتریکی برقگیر شده و مقدار پیک جریان تخلیه برقگیر در یک ولتاژ ثابت افزایش می‌یابد و بعد از گذشت مدت زمان نسبتاً کمی نرخ افزایش دما بیشتر می‌شود. اگر بررسی‌ها تا حدود دمای ۲۰۰ درجه سانتیگراد (حداکثر دمای پایداری حرارتی برقگیر) انجام شود، تغییرات مشخصه V-I برقگیر تا این دما چندان چشمگیر نیست و می‌توان از این تغییرات جریان چشم‌پوشی نمود (شکل (۱)). و از طرفی نیز با تغییر مشخصه ولتاژ-جریان برقگیر و افزایش لحظه‌ای جریان، مشخصه فرورزونانس نیز تغییر می‌یابد و معمولاً دامنه اضافه ولتاژ نسبتاً کاهش می‌یابد. بنابراین با توجه به این دلایل شاید بتوان در خصوص پدیده فرورزونانس جریان عبوری از برقگیر را، علی‌رغم تغییر مشخصه V-I برقگیر، ثابت فرض کرد.

دیسکهای ورستور مورد استفاده در برقگیرهای توزیع دارای سطح مقطع 8.04 cm^2 می‌باشند. برقگیر مورد مطالعه دارای حجم 171 cm^3 می‌باشد [۷]. پس با توجه به جریان پیک بدست آمده می‌توان چگالی جریان متوسط را برای برقگیر مورد نظر حدود $1/3 \text{ A/cm}^2$ در نظر گرفت. با توجه به نمودار شکل (۳) می‌توان توانایی جذب انرژی ورستور تا رسیدن به دمای ناپایداری حرارتی و همچنین وقوع پدیده Puncture را $94050 \text{ J} = 171 \text{ cm}^3 * 550 \text{ J/cm}^3$ و تا وقوع پدیده Cracking را در وضعیت فشردگی $58140 \text{ J} = 171 \text{ cm}^3 * 340 \text{ J/cm}^3$ در نظر گرفت. در این جریان تخلیه پدیده Cracking در وضعیت کششی رخ نمی‌دهد.

روند جذب انرژی توسط برقگیرهای فاز A و C در شکل (۱۳) نمایش داده شده است.

است و همچنین نوع این آسیب مشخص گردیده است. این مقدار قابلیت جذب انرژی محاسبه شده، در جریانهای کم و طبعاً برای مدت زمانهای طولانی‌تر بدست آمده و تبادل حرارتی وریستور با محیط و پیری وریستور نیز در آن لحاظ شده است.

آنچه می‌تواند در شبیه‌سازی‌ها حائز اهمیت باشد، نزدیکی مدل به واقعیت است. پیشنهاد می‌شود که برای استفاده در شبیه‌سازی‌های نرم افزار EMTP، مدلی کاملتر برای برقگیر ZnO که مشخصه الکتریکی آن با توجه به دامنه جریان تخلیه و مدت زمان عبور آن (تغییرات دما و انرژی) تغییر کند، تهیه شود.

مراجع:

- 1- Al-Anbari, K., et al, "Analysis of nonlinear phenomena in MOV connected transformer", IEE Proceedings Online No. 20010571, 2001, PP. 562-566
- 2- Bartkowiak, M., et al, "Failure Modes And Energy Absorbtion Capability of ZnO Varistors", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 14, No. 1, January 1999, PP. 152-162
- 3- Boggs, S., et al, "Electro-Thermal-Mechanical Computations in ZnO Arrester Elements", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 15, No.1, January 2000, PP. 128-134
- 4- Bohmann, L.J., et al, "Lightning arrester failure And Ferroresonance On A Distribution System", IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 29, No.6, November/December 1993, PP. 1189-1195
- 5- Ferracci, .P, "Ferroresonance", ECT190, first issued March 1998
- 6- Greenwood, A., "Electrical Transients in Power Systems", Rensselaer Polytechnic Institute, Second Edition, 1991
- 7- Lam Du, S., et al, "Overvoltages on Distribution Systems", IEEE Paper, 1998, PP. 246-250
- 8- Petit, A., et al, "An experimental method to determine the electro-thermal model

فیوزهای شبکه‌های توزیع، حداقل برای شبکه‌های زیر زمینی که احتمال وقوع پدیده فرورزونانس در آنها بیشتر است، طی دوره‌های زمانی تست شوند، تا حداقل از عملکرد ناصحیح این نوع تجهیز حفاظتی پیشگیری شود.

اکثراً در شبکه‌های توزیع در سمت ۲۰ کیلوولت برای حفاظت ترانسفورماتور در مقابل صاعقه از برقگیرهای ZnO استفاده می‌کنند. همانگونه که مشاهده شد، وجود برقگیر می‌تواند دامنه اضافه ولتاژ ناشی از فرورزونانس را تا حدود حداکثر ولتاژ فاز به فاز سیستم کاهش دهد. که این امر در سیستمهایی که سیستم عایقی متناسب با حداکثر ولتاژ فاز به فاز سیستم انتخاب شده است، از آسیب عایقی جلوگیری می‌کند و در سایر موارد می‌تواند باعث کاهش شدت آسیب عایقی شود و یا مدت زمان تحمل عایق در برابر فرورزونانس را افزایش دهد.

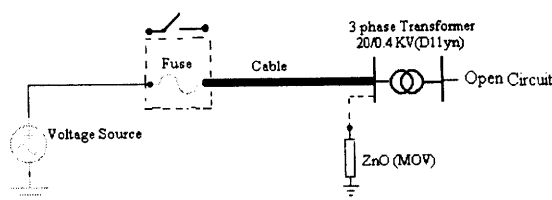
همانطور که قبلاً بحث شد تداوم اضافه ولتاژ برای یک زمان معین، که از مشخصه حرارتی ZnO حاصل می‌شود، می‌تواند منجر به ناپایداری و فروپاشی حرارتی و یا سوراخ شدن موضعی وریستور شود. در هنگام وقوع فرورزونانس، اضافه ولتاژهای ناشی از آن می‌تواند باعث عبور جریانهای ناشی در برقگیر گردد. معمولاً برقگیرها جهت تخلیه جریانهای با دامنه بسیار بالا و در مدت زمان کم، طراحی می‌شوند. اطلاعاتی که در خصوص قابلیت جذب انرژی برقگیر توسط کارخانه سازنده ارائه می‌شود برای جریانهای تخلیه با دامنه بالا و در مدت زمان کم، در رنج زمانی میکرو ثانیه، می‌باشد. مدت زمان تداوم فرورزونانس می‌تواند طولانی باشد و از طرفی دامنه جریانهای تخلیه برقگیرها در این حالت معمولاً در حدود ۱۰ آمپر و یا کمتر است، و اطلاعاتی که کارخانه سازنده در خصوص حداکثر انرژی قابل جذب توسط برقگیر ارائه داده است، در این مورد قابل استناد نیست. در این مقاله، با توجه به نمودار مربوط به توانایی جذب انرژی وریستور برای چگالی جریان متوسط معین (شکل (۳))، مقدار انرژی که برقگیر مورد مطالعه می‌تواند در طی وقوع پدیده فرورزونانس در شبکه مفروض تحمل کند، بدست آمده و با استفاده از آن، زمان آسیب حرارتی برقگیر، تخمین زده شده

سه برقگیر تکفاز، بدون فاصله هوایی، ولتاژ نامی ۲۴ کیلو ولت، ولتاژ کار دائم ۱۸/۵ کیلوولت، شامل یک ستون دیسک وریستور، حجم 171 cm^3 ، قطر دیسک وریستور ۳۲ میلی متر

- parameters of metal oxide surge arresters", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 6, No.2, April 1991, PP. 715-721
- 9- Short, T.A., et al, "Application of MOVs in The Distribution Environment", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 9, No. 1, January 1994, PP. 293-305
- 10- Walling, R.A., et al, "Performance of Metal-Oxide Arresters Exposed to Ferroresonance in Padmount Transformers", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 9, No. 2, April 1994, PP. 788-795

ضمیمه:

دیاگرام تک خطی مدار شبیه سازی شده سیستم مورد مطالعه در این مقاله، در شکل (الف) نشان داده شده است.



شکل الف- دیاگرام تک خطی مدار شبیه سازی شده

مشخصات المانهای مدار:

الف) منبع ولتاژ متناوب سه فاز:

ولتاژ ۲۱/۵ کیلوولت، فرکانس ۵۰ هرتز

ب) کابل زمینی:

سه کابل تک هسته، قطر خارجی کابل ۴۵ میلی‌متر، قطر هسته ۱۸ میلی‌متر، ضخامت غلاف ۰/۸ میلی‌متر، ضخامت زره ۱ میلی‌متر، طول ۱۱۰۰ متر، نصب شده در عمق ۱/۳ متری زمین و به فاصله افقی ۰/۲ متری از یکدیگر

ج) ترانسفورماتور توزیع سه فاز:

نسبت تبدیل 20/0.4 KV، سیم‌پیچی اولیه مثلث و سیم‌پیچی ثانویه ستاره زمین شده، گروه برداری ۱۱، دارای هسته اشباع پذیر

د) برقگیر ZnO: