فصل چهارم

بررسی علل ایجاد اختلال در کار برقگیر

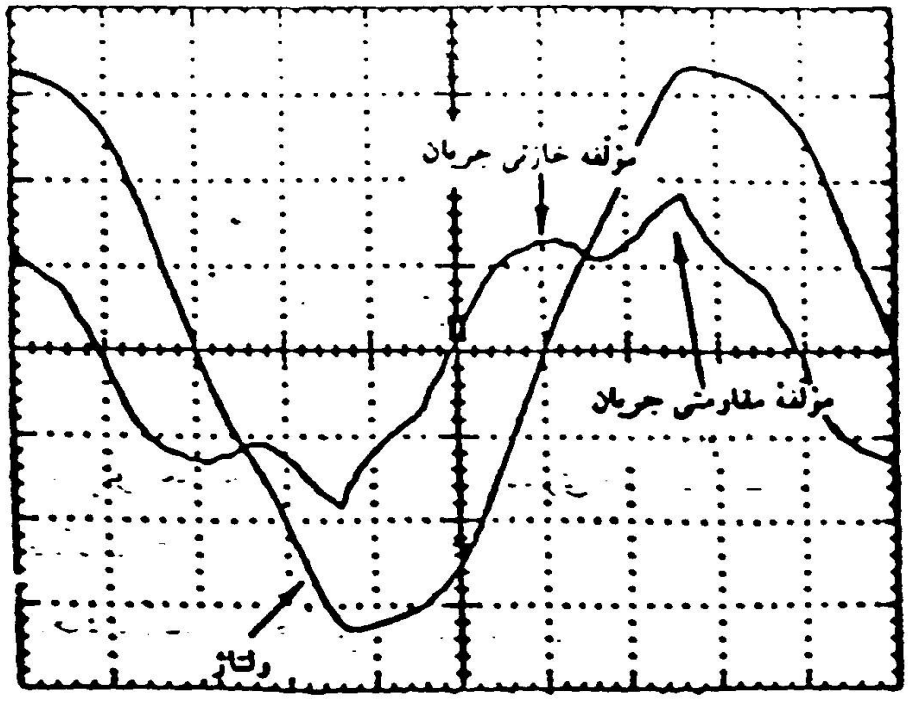
٤-١- مقدمه

استفاده از برقگیرهای اکسید فلزی برای حفاظت از تاسیسات و دستگاههای الکتریکی همچون ترانسفورماتورها در مقابل اضافه ولتاژها که از سالهای دهه ۱۹۷۰ آغاز گردیده است. روز به روز در کشورهای مختلف جهان از جمله در کشور ما ایران گسترش می‌یابد. بخش اصلی این برقگیرها وریستورهایی بصورت سرامیک هستند که ماده تشکیل دهنده شان آمیزه‌ای از اکسیدهای فلزات مختلف است. قسمت اصلی این سرامیکها را اکسید روی تشکیل می‌دهد و اکسیدها دیگری از قبیل آنتیموان،بیسموت، منگنز و کبالت به آن اضافه شده‌اند. با توجه به اینکه اکسید روی حدود ۹۵ درصد این وریستورها را تشکیل می‌دهد.

برقگیرهای مذکرو را معمولا تحت عنوان اکسید روی می‌شناسند. لذا ما نیز در این پروژه آنها را تحت همین عنوان خواهیم نامید. در این برقگیرها تعدادی قرص سرامیک اکسید روی بصورت سری – موازی با یکدیگر در داخل یک پوشش از جنس پرسلین یا صمغ مصنوعی در محیطی از هوا قرار داده شده‌اند. پوشش خارجی مذکور در معرض آلودگی‌های جوی و صنعتی می‌باشد. این آلودگی‌های سطحی می توانند در کار آن اختلال بوجود آورند. عدم طراحی صحیح حرارتی و الکتریکی محفظه برقگیر نیز ممکنست به علت عدم کیفیت لازم مواد مصرفی، صحیح طی نشدن مراحل ساخت و یا ایرادات موجود در الکترودهای دو سر قرص‌ها نتوانند وظیفه خود را به نحو احسن انجام دهند و لذا طول عمر مناسب را دارا نباشند. اینک به شرح یکایک موارد فوق خواهیم پرداخت:

٤-٢- اشکالات مربوط به طراحی و ساخت برقگیر (٤):

چون برقگیر اکسید روی فاقد فاصله هوایی است همیشه تحت ولتاژ شبکه قرار دارد. در نتیجه یک جریان نشتی کوچک از آن می‌گذرد که آنرا اندکی گرم می‌کند. در شکل (٤-١) شکل ولتاژ متناوب اعمال شده و جریان نشتی بقگیر zno که توسط اسیلوسکوپ ثبت شده دیده می‌شود. مقدار موثر ولتاژ اعمال شده متناوب ٤٦٠٠ ولت بوده که در دمای ٨٥ درجه سلسیوس به یک وریستور به قطر و به ارتفاع ٤٠ میلی متر اعمال گردیده است. هر خانه در جهت عمودی نشان دهنده ٢٥٠ میکروآمپر می‌باشد. جهت اندازه‌گیری جریان از مقاومت سری به مقدار ١٠ کیلو اهم استفاده بعمل آمده است.



شکل (٤-١): شکل موج ولتاژ متناوب اعمال شده و جریان نشتی در برقگیر اکسید روی

همانگونه که ملاحظه می‌گردد موج جریان به علت داشتن مولفه‌خازنی نسبت به ولتاژ پیش فاز است. این موج از دو مولفه تشکیل شده است:مولفه جریان رآکتیو که بستگی به ظرفیت خازنی وریستورها داشته و یا ولتاژ ۹۰ درجه اختلاف فاز دارد و مولفه جریان آکتیو یا مقاومتی که با ولتاژ همفاز بوده و مسئولیت گرم شدن وریستورها را بعهده دارد. اگر توان ورودی به برقگیر از طریق شبکه p و گرمای دفع شده از آن به محیط بیرون مساوی Q باشد.

در حالت عادی و پایدار P=Q خواهد بود و این شرط بر قراری تعادل حرارتی و ثابت ماندن دمای برقگیر است. حال اگر به عنوان مثال یک موج صاعقه به برقگیر برسد و از طریق آن تخلیه شود. توان اضافی در برقگیر وارد شده و P بالا می‌رود و لذا باید توان گرمایی دفع شده Q نیز بالا رود تا همچنان تعادل حرارتی برقرار بماند. رابطه ریاضی هر یک از توانهای ورودی P و خروجی Q به شکل زیر است:

$$P = UAT\text{^}2\exp(-q\varphi b / kt) \qquad (۱-٤)$$

$$Q = hsT\text{^}(5/4) \qquad (۲-٤)$$

که در آن:

U= ولتاژ اعمالی به برقگیر.

A= ثابت ریچارد سون.

T= درجه حرارت وریستور بر حسب K̊

q= بار الکتریکی الکترون =(۱۹-)^۱۰×٦,۱ کولمب.

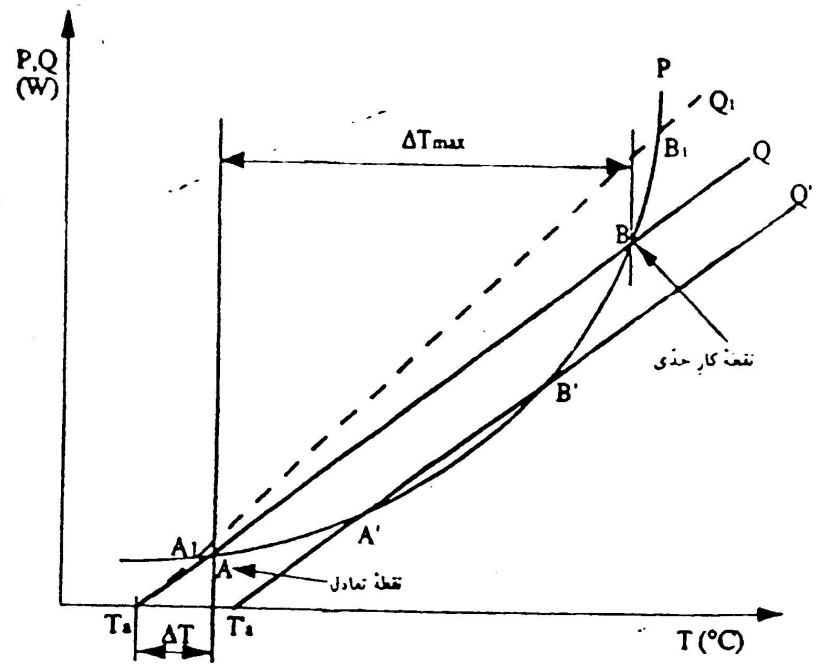
φb= ارتفاع سد پتانسیل بر حسب ولت.

k= ثابت بولتزمن

h= ضریب تبادل حرارتی بین برقگیر و محیط اطرافش.

s= مساحت سطح تبادل حرارت.

T= اختلاف دمای وریستور نسبت به محیط خارج می‌باشد.



شکل (٤-٢): تعادل حرارتی یک برقگیر اکسید روی

بنابر شکل ۲ در حالت تعادل، نقطه کار حرارتی در A واقع شده است باوارد شدن تنش الکتریکی اضافی، مثلا در زمان تخلیه یک اضافه ولتاژ توسط برقگیر، گرما در آن تولید می‌شود و نقطه کار روی منحنی P=f(T) جابجا می‌گردد. اگر نقطه کار جدید در سمت چپ نقطه B باشد. توان

وارده کوچکتر از توان قابل تخلیه توسط برقگیر است و لذا برقگیر خنک می‌شود و نقطه کار به A باز می‌گردد. اما اگر گرم شدن وریستورها به نحوی باشد که نقطه کار از B بالاتر رود. توان اخذ شده بزرگتر و توان قابل دفع به وسیله برقگیر است و در نتیجه ناپایداری حرارتی پیش خواهد آمد واضح است که توانایی دفع حرارت بطور طبیعی از برقگیر به بیرون محدود است. هر بار که P بالاتر رود به علت گرمتر شدن وریستورها و حضور دائمی ولتاژ شبکه روی برقگیر جریان نشتی نیز بالا می‌رود و گرمای بیشتری در داخل وریستورها تولید می‌شود. این امر به نوبهه خود بر مقدار جریان می‌افزاید .

اگر این جریان ادامه پیدا کند و مقدار گرمای تولید شده بیشتر از گرمای دفع شده باقی بماند دمای داخلی محفظه برقگیر به مقدار کنترل نشده‌ای بالا رفته و منجر به خرابی برقگیر خواهد شد. این پدیده را ناپایداری حرارتی می‌نامند. طراحی محفظه برقگیر و تعداد قرص‌های سری – موازی شده باید به نحوی باشد که بتواند تنش‌های حرارتی – الکتریکی معمول را بدون ایجاد ناپایداری حرارتی تحمل نماید.

٤-٣- پایین بودن کیفیت قرص‌های وریستور (٤):

وریستورهای اکسید روی بر اساس یک روش تهیه سرامیک بدست می‌آیند . اکسیدها و نمکهای فلزی لازم که باید دارای خلوص بسیار زیاد باشند بصورت پودر به مقادیر معین با یکدیگر مخلوط شده همراه با آب مقطر به مدت زیاد ساییده می‌شوند. سپس خشک شده تا دمای ۷۰۰ درجه

سانتیگراد حرارت داده می‌شوند. سپس از الکهایی با سوراخهای بسیار ریز عبور داده شده و توزین در داخل قالبهایی استوانه‌ای شکل پرس می‌گردند.

قطعاتی که به این شکل تولید شده‌اند تا دمای ٦٠٠ درجه سانتیگراد حرارت داده می‌شوند تا مواد آلی کمکی داخل آنها سوزانده شوند. سپس سرامیک حاصله در دمای ۱۳۰۰-۱۱۰۰ درجه سانتیگراد پخته می‌شود. این اعمال باعث می‌شود که سرامیک سخت و فشرده شده، ساختمان میکروسکوپی آن شکل پیدا کند و اکسیدهای مختلف در داخل ذرات اکسید نفوذ نماید. وجود اکسیدهای فلزی اضافی نقش بسزایی در خواص وریستور دارد. سطح جانبی قطعات استوانه‌ای که به این صورت آماده می‌شوند با یک لایه عایق محافظ به ضخامت ۵۰ تا ۲۰۰ میکرون پوشانده و دو قاعده آنها متالیزه می‌گردند تا دارای دو الکترود شوند.

کیفیت محصول نهایی به شدت تحت تاثیر کیفیت و خلوص مواد تشکیل دهنده و درصد هر یکا زآنها، طرز دانه‌بندی و ابعاد ذرات، شکل منحنی تغییرات درجه حرارت کوره در هنگام عملیات حرارتی بر روی سرامیک و نیز نوع و کیفیت الکترودها می‌باشد. در صورتی که موارد فوق دقیقا رعایت نشود جریان نشتی وریستور تحت ولتاژ نامی بالا بوده خاصیت غیر خطی آن ضعیف خواهد بود و یا ظرفیت تحمل حرارتی کمی خواهد داشت که هر یک از این موارد باعث اختلال در کار برقگیر و خرابی آن در طول زمان خواهد گردید.

٤-٤- پیرشدن قرص‌های اکسید روی تحت ولتاژ نامی در طول زمان (٤):

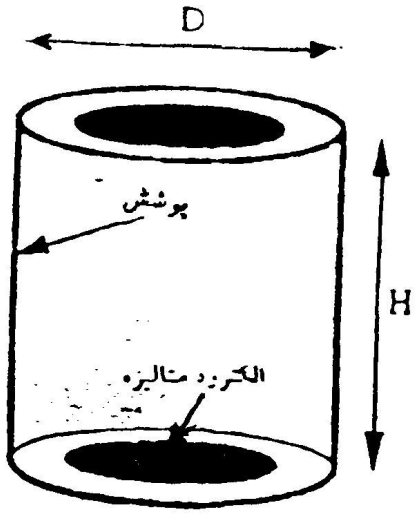
ولتاژ نامی شبکه در دمای میحط که در طول مدت زمانی به طور دائم به برقگیر اعمال می‌شود. ممکن است در برخی از انواع وریستور پیری ا یجاد نماید. این نوع خراب شدن وریستور که عبارت از یک تغییر بسیار کند خواص ذرات ماده در طول زمان است. منجر به کاهش ارتفاع سدهای پتانسیل شاتکی[1] موجود در مرز بین دانه‌های اکسید روی می‌شود. سدهای مزبور عامل خواص غیر خطی وریستور اکسید روی هستند و با ضعیف شدن آنها کیفیت وریستور تنزل خواهد کرد. میزان این پیر شدن بستگی به طبیعت و کیفیت سرامیک مورد استفاده و میزان و نوع اکسیدهای اضافه شده دارد و در انواع جدید برقگیر ممکن است به یک میزان قابل صرفنظر کاهش یافته باشد.

٤-٥- نوع متالیزاسیون مورد استفاده روی قاعده قرص‌های اکسید روی(٤):

همانگونه که ذکر شد دو قاعده وریستورها به منظور ایجاد الکترود متالیزه می‌شود (شکل ٤-٣). این متالیزاسیون می‌تواند از طرقی مانند قرار دادن یک مرکب نقره و پاشیدن آلومینیوم مذاب بر روی آن ایجاد شود. کیفیت این امر نقش مهمی در مقاومت الکتریکی آن و در نتیجه ولتاژ باقیمانده کل برقگیر دارد. در صورتی که این سطح متالیزه در اثر اکسید شدن مقاومت بالایی پیدا نماید، یک اتصال الکتریکی نامرغوب بدست خواهد داد.

متالیزاسیون نقره‌ای کیفیت بالاتری نسبت به آلومینیوم دارد. یکی از راههای حفاظت این الکترودها در مقابل اکسیداسیون قرار دادن وریستورها در روغن است.

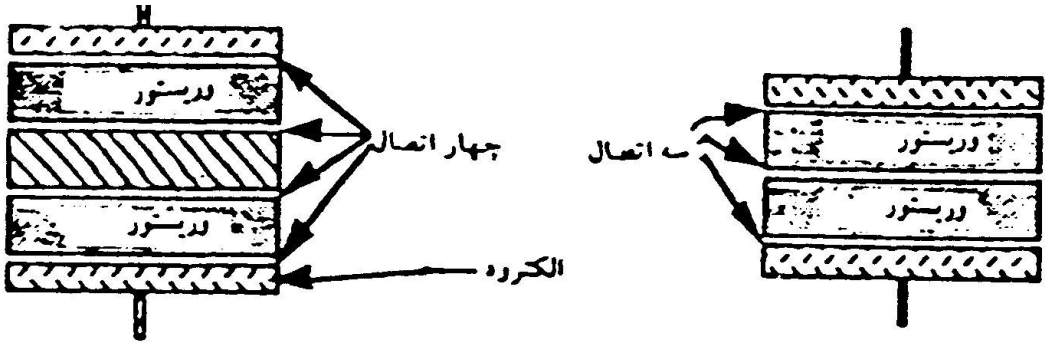
1- Shutckey



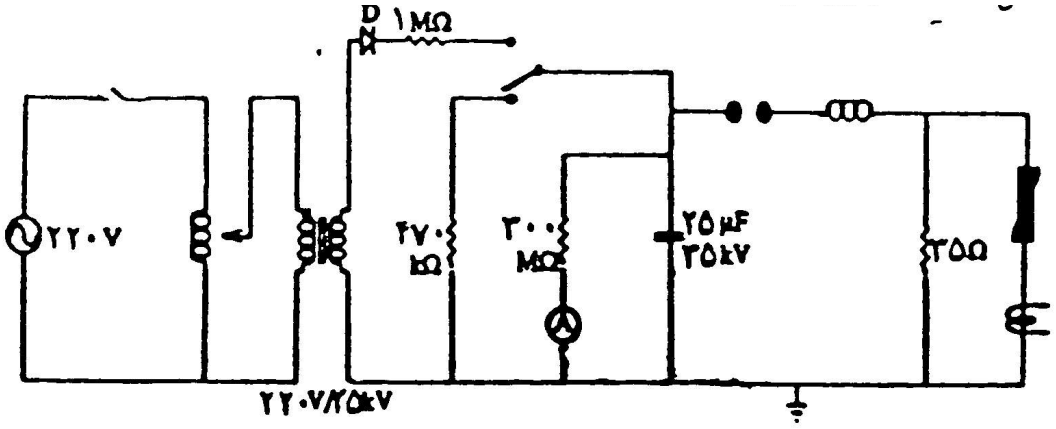
شکل (٤-٣): وریستور اکسید روی

به منظور نشان دادن نقش مقاومت اتصال در الکترودها بر روی عملکرد برقگیر نسبت به انجام آزمایش زیر اقدام می‌کنیم. می‌دانیم که معمولا یک وریستور با ارتفاع بیشتر از ٤٠ میلیمتر ساخته نمی‌شود. لذا برای داشتن ارتفاع بالاتر ستون وریستور باید چند قرص اکسید روی را با یکدیگر سری کرد. در اینجاست که نقش مقاومت اتصال بین وریستورها اهمیت پیدا می‌کند.

یک فضا ساز فلزی با مقاومت قابل صرفنظر را بین دو وریستور قرار می‌دهیم تا بدین وسیله تعداد اتصالهای سری را که در حالت عادی برابر با ٣ عدد است، به ٤ عدد برسانیم، (شکل ٤-٤). سپس در دو حالت یا ٣ کنتاکت و یا ٤ کنتاکت ، موج جریانی به برقگیر وارد می‌کنیم، در این آزمایش در هر دو حالت فوق‌الذکر مقدار شارژ خازن ژنراتور ضربه یکسان است.



شکل (٤-٤): دو واریستور اکسید روی سری همراه با فضاساز یا بدون آن



شکل (٤-٥): مولد موج ضربه مورد استفاده

در این آزمایش ها از مولد موج ضربه شکل (٤-٥) استفاده شده است.

مقایسه مقادیر ماکزیمم موج جریان نشان می‌دهد که در حالت با ٤ کنتاکت، جریان از ٣ کیلوآمپر به ٢/٧ کیلوآمپر کاهش یافته که یک تنزل ٣٠٠ آمپری را نشان می‌دهد.

این کاهش به علت ازدیاد مقاومت اتصال به سبب افزودن فضاساز ایجاد گردیده است . یک محاسبه ساده نشان می‌دهد که مقاومت اتصال مقداری برابر ٠/٥٧ اهم داشته است. این مقاومت

اضافی در صورت عبور جریان تخلیه ۵ کیلو آمپر از برقگیر باعث افزودن ولتاژ باقیمانده به میزان بیش از ۲/۵ کیلوولت خواهد گردید. وریستورهای استفاده شده در این آزمایش دارای الکترودهای آلومینیومی کم و بیش اکسیده بودند که اتصال بدی را نتیجه می‌دادند. یک آزمایش دیگر با وریستورهای دارای الکترود نقره‌ای ، مقاومتی مساوی با ۰/۰۲ اهم را نشان می‌دهد.

٤-٦- عدم کیفیت لازم عایق سطحی روی وریستورها [٤]

وظیفه عایق سطحی روی وریستورها، شکل (٤-٣) ، بسیار با اهمیت است. دو وظیفه مهم آن عبارت است از:

الف- حفظ اکسید روی و سایر اکسیدهای همراه آن در مقابل فعل و انفعال شیمیایی با محیط، از قبیل تاثیر محیطهای کاهنده مانند روغن معدنی ترانسفورماتور روی سطح وریستور و یا فعل و انفعال با محصولات ناشی از تخلیه جزئی در فضای داخل برقگیر در طول زمان.

ب- جلوگیری از وقوع فروپاشی روی سطح وریستور در اثنای تخلیه امواج صاعقه از طریق برقگیر. لازم به ذکر است که در صورت وقوع تخلیه از روی سطح وریستورها، علاوه بر آنکه برقگیر وظیفه خود را انجام نمی‌دهد، اضافه ولتاژ منتقل شده به ترمینالهای ترانسفورماتور مورد حفاظت ممکن است مقادیر بالایی داشته باشد و بعلاوه شب پیشانی موج نیز به نحوی باشد که باعث وقوع شکست در عایق سیم‌پیچ گردد. توزیع غیر یکنواخت ولتاژ ضربه روی سیم‌پیچ این امر را تشدید خواهد کرد. بنابراین روکش عایقی سطح قرص‌های اکسید روی اهمیت بسزایی در عملکرد صحیح

برقگیر دارد و در صورتی که در اثر عواملی از قبیل تخلیه جزئی، وقوع شکست سطحی، پدیـد آمـدن تنش‌های حرارتی بزرگ و مانند آن این روکش ترک بخورد یا کنده شود، نقطه ضـعف بزرگـی بـرای برقگیر پدید می‌آید که آنرا در طول زمان از بین خواهد برد. آزمایش‌ها نشان می‌دهد که پوشـش‌هـای شیشه‌ای دارای مقاومت بهتری نسبت به پوشش‌های رزینی هستند.

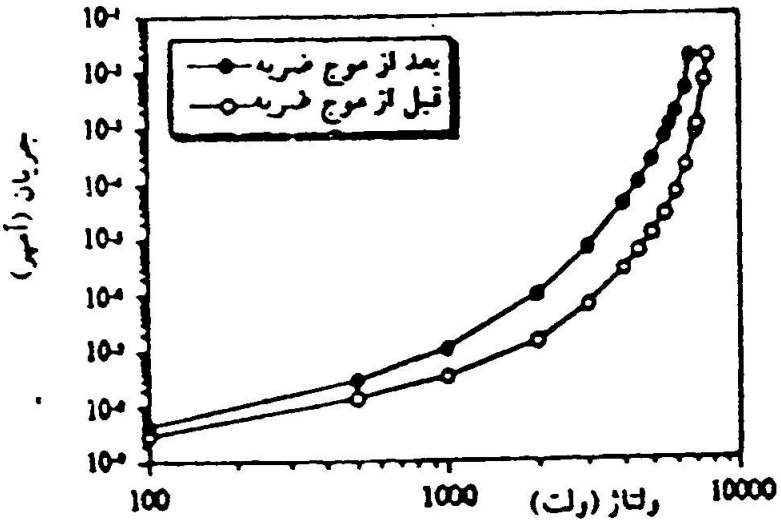
٤-٧- اشکالات مربوط به انتخاب نوع برقگیر و محل آن در شبکه

٤-٧-١- پایین‌بودن ظرفیت برقگیر مورد انتخاب نسبت به قدرت صاعقه‌های موجود در محل

با توجه به سطح ایزوکرنیک و میزان احتمال وقوع صاعقه با پیشانی مـوج و دامنـه مشـخص ظرفیت خاصی برای برقگیر انتخاب می‌شود که از جمله این موارد ۲/۵ کیلو آمپر ، ۵ کیلو آمپـر ، ۱۰ کیلو آمپر و یا بیشتر است.

این عدد دامنه موج جریان تست برقگیر را نشان می‌دهد. اگر ظرفیت برقگیر مورد انتخاب با توجه به مطالب فوق کافی نباشد، احتمال خرابی آن بالا می‌رود. توضـی آنکـه وریسـتورهای اکسـید روی در اثر تخلیه جریان صاعقه دچار تنزل کیفیت می‌شوند که میزان آن بستگی به میزان بزرگی موج وارده دارد. برای نشان دادن این امر طی آزمایشی امواج ضربه جریانی با دامنه بزرگ به یک وریستور به قطر و ارتفاع ٤٠ میلیمتر وارد می‌شود. پوشش عایقی این وریستور از جنس شیشـه مـی‌باشـد. بـه منظور جلوگیری از شکست سطحی وریستور آن را در داخل روغـن قـرار داده و آزمـایش را انجـام می‌دهیم.

در شکل (٤-٧) مشخصه جریان – ولتاژ وریستور مزبور قبل و بعد از اعمال سه موج ضربه ۲۰ کیلو آمپر و ۲ موج ضربه ٦٥ کیلوآمپر با مدت زمان ۵/۱۵ میکروثانیه دیده می‌شود. همانگونه که ملاحظه می‌گردد، جریان نشتی وریستور افزایش و ولتاژ آستانه هدایت آن کاهش یافته است که این امر پایین آمدن کیفیت وریستور را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که تخلیه یک موج جریان ٦٥ کیلو آمپر در چنین وریستوری ولتاژ باقیمانده ماکزیمم در حدود بیش از ۲۰ کیلو ولت را در دو سر آن نتیجه خواهد داد. لذا انرژی تخلیه شده موجی در وریستور در حدود ۱۵ هزار ژول خواهد بود که چگالی حجمی آن در حدود ۳۰۰ ژول بر سانتی‌متر مکعب خواهد گردید.



شکل (٤-٧): مشخصه جریان – ولتاژ یک وریستور قبل و بعد از تحمل موج‌های جریانی با دامنه بزرگ

اگر سطح مقطع و نسبت تحمل انرژی وریستور را با توجه به سطح صفحه در صفحه‌ها متناسب انتخاب شده باشد برقگیر دچار خرابی زودرس خواهد گردید. با توجه به تنزل کیفیت آن

پس از تخلیه صاعقه جریان نشتی بالاتری پیدا کرده و در دمای بالاتر کار خواهد کرد. چنین برقگیری هرچند ظاهراً مشکلی ندارد ولی ممکن است به تدریج به حد ناپایداری حرارتی رسیده و بعد از اصابت یک صاعقه سنگین دچار خرابی نهایی و انفجار گردد.

٤-٧-٢- پایین بودن ولتاژ آستانه برقگیر انتخاب شده نسبت به سطح TOV

انتخاب برقگیر اکسید روی باید به نحوی باشد که ولتاژ آستانه هدایت آن به قدر کافی بالاتر از سطح اضافه ولتاژهای موقت (TOV) شبکه در محل نصب آن باشد. در غیر اینصورت در صورت وقوع چنین اضافه ولتاژهایی که متناوب هستند، انرژی بسیار بالایی در برقگیر تخلیه می‌شود که خرابی را به همراه خواهد داشت. به خصوص با توجه به پیدایش **اضافه ولتاژهای بزرگ ناشی از فرورزونانس** در شبکه‌های فعلی،باید برقگیرها به نحوی طراحی شده باشند که بتوانند این اضافه ولتاژهای پایدار روی شبکه را بدون وقوع ناپایداری حرارتی تحمل نمایند.

٤-٨- اشکالات ناشی از نحوه نگهداری و بهره‌برداری از برقگیر

٤-٨-١- وجود تخلیه جزئی در داخل محفظه برقگیر

اگر بعلتی مثلاً نفوذ رطوبت، در داخل محفظه برقگیر تخلیه جزئی پیش بیاید، این امر باعث خرابی تدریجی وریستورها می‌گردد. مطالعات اخیر نشان داده‌اند که تاثیرات شیمیایی ناشی از این پدیده، علاوه بر مستعد نمودن قرص‌ها جهت ایجاد شکست در اثر امواج صاعقه روی سطح آنها، لایه

سطحی قرص‌های اکسید روی را خراب می‌کند و از خاصیت غیر خطی آنها می‌کاهد . لذا وجود تخلیه جزئی باعث کاهش طول عمر برقگیر می‌گردد.

٤-٨-٢- آلودگی سطح خارجی محفظه برقگیر

عمل کثافت سطحی روی برقگیرهای اکسید روی پدیده‌ای پیچیده است. این آلودگی‌ها اگر از نوع نمکی باشند در هنگام رطوبت و اگر از نوع فلزی یا دوده باشند در حالت خشک یا تر دارای تاثیر منفی روی عملکرد برقگیر هستند. آلودگی‌های سطحی بطور یکنواخت روی سطح خارجی محفظه برقگیر توزیع نمی‌شوند و لذا علاوه بر نزدیک نمودن الکترودها و کوتاه کردن فاصله عایقی، نحوه توزیع پتانسیل روی سطح برقگیر را نیز تغییر می‌دهند. بنابراین دو توزیع پتانسیل متفاوت وجود خواهد داشت که یکی بوسیله وریستورهای اکسید روی در داخل برقگیر اعمال می‌شود و دیگری توسط لایه آلودگی سطحی در خارج برقگیر تحمل می‌گردد.

گرادیان‌هایی که بین این دو توزیع پتانسیل ظاهر می‌شود، پدیده‌ای مزاحم است. این پدیده می‌تواند باعث گرم شدن موضعی قرص‌ها شود و یا ایجاد تخلیه جزئی بین ستون وریستورها و محفظه برقگیر بنماید. این امر باعث کاهش طول عمر برقگیر خواهد بود.

البته عملکرد برقگیرهای اکسید روی فعلی در برابر آلودگی سطحی از رفتار برقگیرهای سیلیکون کارباید در این مورد بسیار بهتر است. در برقگیرهای سیلیکون کارباید، تغییرات نحوه توزیع ولتاژ می‌تواند به ایجاد تخلیه در فاصله‌های هوایی سری با قرص‌های برقگیر، حتی تحت ولتاژ نامی،

منجر شود که خرابی برقگیر را نتیجه خواهد داد، زیرا برقگیر نمی‌تواند در این شرایط خود را از قوس ایجاد شده برهاند. به منظور جلوگیری از تاثیرات فوق باید سطح خارجی برقگیرها را با برنامه زمانی معین شستشو داد. راه دیگر رهایی از مشکل آلودگی اکسید روی، قرار دادن وریستورها در داخل تانک ترانسفورماتورهای غوطه‌ور در روغن است که آنها را در برابر آلودگی‌های خارجی محافظت خواهد نمود.

٤-٨-٣- اکسید شدن و خرابی اتصالات خارجی برقگیر(٤):

در صورت خرابی یا شل شدن کنتاکتهای مدار خارجی برقگیر یا اتصالات زمین، افت ولتاژ روی آنها در هنگام تخلیه جریان صاعقه بالا می‌رود. این افت ولتاژها با ولتاژ باقیمانده دو سر برقگیر جمع شده و نتیجه آنها به عایق دستگاه مورد حفاظت (ترانسفورماتور) اعمال می‌گردد که ممکن است به آن صدمه برساند.