

بررسی و مقایسه روش‌های نوین جهت بررسی کیفیت و پایش برق‌گیرها

علیرضا اعتضاد - احمد غلامی

دانشکده مهندسی برق دانشگاه علم و صنعت ایران

کلید واژه: برق‌گیر - آزمایشات نوعی - پایش - ولتاژ مرجع برق‌گیر - ولتاژ تخلیه برق‌گیر - ولتاژ بازگشتی

چکیده

در این مقاله روش‌های نوین جهت بررسی کیفیت و پایش برق‌گیرها مقایسه شده و نقاط قوت و ضعف آنها مورد ارزیابی قرار گرفته است. روش‌های بررسی کیفیت برق‌گیر اعم از روش‌های مخرب و غیر مخرب می‌باشند، بدیهی است هر چه آزمایشات انجام شده بر روی برق‌گیر بهتر بتواند وضعیت آن را در شرایط گوناگون شبکه آشکار کند، به همان نسبت قابلیت اطمینان سیستم و عملکرد آن در قبال اضافه ولتاژها بیشتر خواهد شد. در نهایت نتایج حاصل از به کار بردن روش‌های پیشنهادی مورد تحلیل قرار می‌گیرند.

۱- مقدمه

با توجه به پایین بودن سطوح عایقی در شبکه توزیع نسبت به شبکه‌های فشار متوسط و فشار قوی تجهیزات این شبکه‌ها در مقابل تخلیه‌های جوی به میزان بیشتری آسیب‌پذیر می‌باشند. به خصوص در مناطقی که ارتفاع سازه‌های مجاور تجهیزات شبکه توزیع کم می‌باشد، احتمال برخورد صاعقه به صورت مستقیم یا غیر مستقیم

به سیستم توزیع وجود دارد. لذا حفاظت این سیستم‌ها در مقابل صدمات ناشی از صاعقه ضروری می‌باشد. در عین حال علی‌رغم آنکه میزان اضافه ولتاژ ناشی از کلیدزنی در این شبکه‌ها قابل مقایسه با امواج صاعقه نمی‌باشد، ولی با این حال حفاظت شبکه در مقابل امواج کلیدزنی به دلیل کلیدزنی‌های زیاد در شبکه توزیع ضروری می‌باشد. این امر سبب گردیده است که نصب برق‌گیرها در شبکه توزیع به صورت یک نیاز اساسی مورد توجه قرار گیرد.

نسل جدید برق‌گیرها شامل قرص‌های اکسید روی و بدون فاصله هوایی می‌باشند. این نوع برق‌گیرها به واسطه مشخصه فوق‌العاده غیرخطی خود، عملکرد بسیار مناسبی در قبال اضافه ولتاژهای صاعقه و کلیدزنی از خود نشان می‌دهند و اضافه ولتاژهای ایجاد شده را تا حد قابل تحمل ایزولاسیون سیستم کاهش می‌دهند. تنها عیب این نوع برق‌گیرها آن است که به علت عدم وجود فاصله هوایی سری همواره یک جریان نشتی کوچک تحت ولتاژ دائمی شبکه و به خصوص هنگام اضافه ولتاژهای موقت

۲-۲ اندازه‌گیری مشخصه V-I

در این آزمایش در چند نقطه مختلف حول نقطه شکست ولتاژ و جریان بدست می‌آیند و به کمک این نقاط فرم تقریبی منحنی V-I در محدوده نقطه شکست حاصل می‌گردد.

۲-۳ اندازه‌گیری ولتاژ تخلیه برق‌گیر

ولتاژ تخلیه نامی عبارت از ولتاژ باقیمانده دوسر برق‌گیر پس از اعمال جریان تخلیه نامی برق‌گیر بر روی آن می‌باشد. مقدار این ولتاژ جهت بررسی سطح محافظت تجهیزاتی که برق‌گیر آنها حفاظت می‌نماید اهمیت دارد.

۲-۴ اندازه‌گیری تلفات توان

به منظور محاسبه تلفات توان، ولتاژ و جریان ناشی برقی اندازه‌گیری شده و حاصلضرب آنها به عنوان میزان تلفات منظور می‌گردد. مزیت این روش آن است که مستقل از نوع ولتاژ اعمالی به برق‌گیر می‌تواند وضعیت قرص‌ها را ارزیابی نماید. البته این روش بیشتر در مطالعات آزمایشگاهی متداول است. [2]

۳- روش‌های متداول جهت پایش برق‌گیرها

علاوه بر آزمایشاتی که قبل از بهره‌برداری از برق‌گیر کاربرد دارد برخی از آزمایشات دوره‌ای و پس از نصب برق‌گیر در شبکه روی آن صورت می‌گیرد تا بتوان از عملکرد صحیح آن در صورت ایجاد اضافه ولتاژهای احتمالی در شبکه اطمینان حاصل نمود. [3] همچنین اگر به دلیلی در عملکرد برق‌گیر مشکل ایجاد شد، بتوان به موقع از مشکلات آتی پیشگیری نمود، طراحی و نصب دستگاه‌های پایش برق‌گیر چند سالی است که در دنیا متداول شده است و نمونه داخلی آن نیز به تازگی ساخته شده است، روش‌های معمول جهت پایش برق‌گیر به شرح زیر می‌باشند:

۳-۱ تعیین محتوای هارمونیک سوم جریان

نشستی

از آنجا که برق‌گیر یک مقاومت غیر خطی است، تحریک آن توسط ولتاژ سینوسی سبب ایجاد مؤلفه‌های

[۱] درعین حال با توجه به احتمال

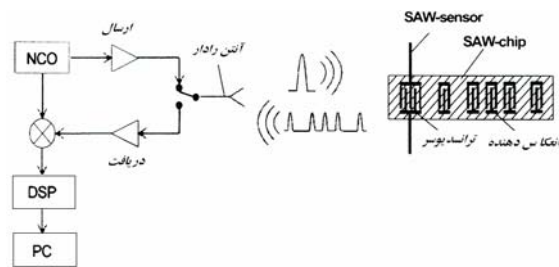
زیادخرابی قرص برق‌گیر در شبکه توزیع لازم است تدابیر لازم جهت اطمینان از کیفیت قرص‌های برق‌گیر چه قبل از اتصال به شبکه و چه در هنگام بهره‌برداری صورت پذیرد تا برق‌گیر بتواند وظیفه حفاظت از سیستم را به نحو شایسته ایفا نماید. بدین منظور روش‌های آزمایشی مختلف جهت بررسی کیفیت برق‌گیر در استاندارد IEC99-4 تحت عنوان آزمایشات کارخانه‌ای و نوعی ارائه گردیده‌اند و چند سالی است که به این منظور در کارخانه‌های سازنده برق‌گیر کاربرد دارند. [12] با این وجود استاندارد مزبور در طی این سالها تغییر یافته و آزمایشاتی به آن اضافه شده که هنوز کامل نمی‌باشند. این امر لزوم بررسی بیشتر بر روی آزمایشات مزبور را پدیدار می‌سازد. [۱] در این مقاله به بررسی و مقایسه این روش‌های نوین خواهیم پرداخت.

۲- روش‌های متداول ارزیابی در برق‌گیرها

چنانچه در مقدمه ذکر شد در حال حاضر جهت تست‌های برق‌گیر، روش‌های متعددی معمول می‌باشد. قسمت اعظم این روشها مبتنی بر آزمایشات زیر می‌باشد:

۲-۱ اندازه‌گیری ولتاژ مرجع

ولتاژ مرجع به عنوان افت ولتاژ بین ترمینال‌های ورستور هنگامی که جریان مرجع در آن جاری است تعریف می‌گردد. این جریان بسته به نوع برق‌گیر در حدود چند میلی آمپر می‌باشد. در مشخصه ولتاژ، جریان برق‌گیر این نقطه در نزدیکی نقطه شکست قرار دارد و جهت تعیین نقطه شکست می‌توان از آن استفاده نمود.



شکل ۱- استفاده از سنسور SAW جهت اندازه گیری دما

۴- روش های نوین جهت ارزیابی برق گیر

اکسید روی

۴-۱- روش های غیر مخرب

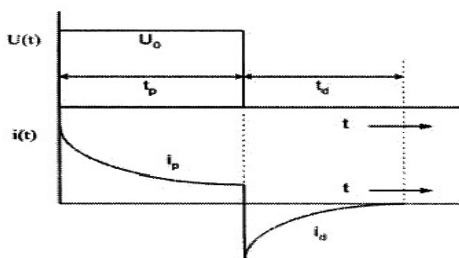
۴-۱-۱- اندازه گیری جریان پلازیراسیون و

دیپلاریزاسیون

این روش جهت تعیین میزان خاصیت دی الکتریک مواد عایقی کاربرد دارد. در این آزمایش مطابق شکل (۲) ابتدا ولتاژ پله با دامنه V_0 بر روی برق گیر اعمال می گردد و به مدت t_p ثانیه باقی می ماند و جریان عبوری از برق گیر (جریان پلازیراسیون i_p) اندازه گیری می شود. سپس ولتاژ اعمالی را به اتصال کوتاه مبدل کرده و برای مدت t_d نگه می دارند. در این زمان نیز جریان عبوری از برق گیر (جریان دیپلاریزاسیون i_d) تعیین می گردد. با داشتن جریان های i_p و i_d می توان میزان رسانایی ماده را مطابق رابطه (۱) بدست آورد:

$$\sigma \cong \frac{\epsilon_0}{C_0 V_0} (i_p(t) - i_d(t)) \quad (1)$$

در شکل (۲) نحوه اعمال ولتاژ پله و سپس اتصال کوتاه نشان داده شده است:



شکل ۲- موج جریان های پلازیراسیون و دیپلاریزاسیون

[7]

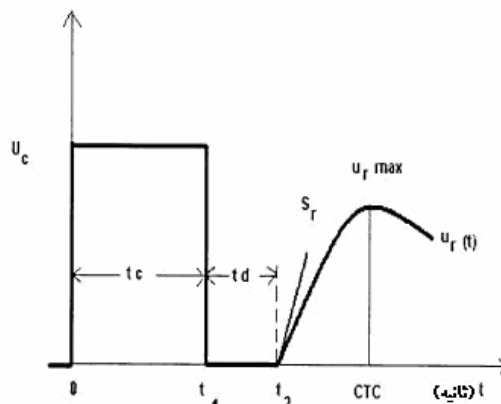
۳-۲- اندازه گیری دمای قرص های برق گیر

از آنجا که تمام عواملی که جهت پایش برق گیر مورد آزمایش و ارزیابی قرار می گیرند، در نهایت سبب افزایش دمای قرص های برق گیر می شوند لذا اندازه گیری دمای قرص ها روشی بسیار مطمئن جهت بررسی وضعیت برقی می باشد. دمای ستون قرص های ورستور حاصل تغییرات و اثرات متقابل درونی آن است و در هر لحظه می توان قابلیت جذب انرژی برق گیر را از روی دمای آن تعیین نمود. به این روش می توان پیش بینی کرد که با ایجاد یک تنش معین برق گیر دچار عیب می گردد یا خیر.

روش جدید اندازه گیری این دما قرار دادن سنسورهای دما با امواج آگوستیک (SAW) است، این سنسورها به منبع انرژی خارجی نیازی ندارند و به کمک آنها می توان از راه دور با فرستادن و دریافت سیگنال مطابق شکل (۱)، دمای قرص ها را معین نمود.

۴-۱-۲- اندازه‌گیری ولتاژ بازگشتی

این روش جهت ارزیابی مواد عایق مانند کابل، ترانسفورماتور و غیره کاربرد داشته است و چون برق‌گیر در شرایط ولتاژ نرمال شبکه می‌بایست مشابه یک عایق عمل نماید، لذا اندازه‌گیری ولتاژ بازگشتی می‌تواند میزان خواص عایقی قرص‌ها را معین سازد. [2] در این روش مطابق شکل (۳) ابتدا دی‌پل‌های درونی ماده توسط ولتاژ اعمالی پلازیره شده و در ادامه دوباره دیپلاریزه می‌شوند و با این روش یک عمل شارژ به تبع آن و دشارژ در مرزهای داخلی قرص‌ها ایجاد می‌شود.



شکل ۳- پدیده ولتاژ بازگشتی

مراحل انجام آزمایش به صورت زیر است:

- ۱- برای مدت t_2 نمونه تحت آزمایش با ولتاژ V_c شارژ می‌گردد.
- ۲- به مدت $(t_2/2)$ نمونه مورد آزمایش اتصال کوتاه و دشارژ می‌گردد.
- ۳- ولتاژ مدار باز V_{max} اندازه‌گیری می‌شود.

در این آزمایش سه مقدار اندازه‌گیری می‌شوند که جهت ارزیابی قرص‌های برق‌گیر به کار می‌روند:

- الف) ولتاژ بازگشتی ماکزیمم (V_{max})
- ب) زمان لازم جهت رسیدن به ولتاژ ماکزیمم (ثابت زمانی میانی CTC)
- ج) شیب اولیه منحنی و شیب ولتاژ بازگشتی

۴-۲- آزمایشات مخرب ارزیابی برق‌گیر:

از آنجایی که سطح قرص‌های برق‌گیر با پوشش رسانا پوشانده شده است، جهت بررسی خواص میکروسکوپی آن نیاز به تخریب قرص می‌باشد. جهت انجام آزمایشات مخرب ابتدا قرص ورسیتور به شکل عمودی توسط اره با تیغه الماسه برش می‌خورد و سپس سطح آن توسط سنگ مخصوص صافکاری و سپس پولیش می‌گردد. در ادامه سطح قرص با محلول حاوی سود سوزآور تراشیده می‌شود و پس از آماده شدن نمونه‌ها به روش‌های زیر بررسی می‌گردند:

۴-۲-۱- میکروسکوپ نوری

نمونه‌های آماده شده به روش بالا ابتدا زیر میکروسکوپ رویت می‌شوند. بدین وسیله می‌توان ابعاد ذرات و وضعیت آنها را در حالت‌های مختلف مقایسه نمود.

۴-۲-۲- میکروسکوپ الکترونی

اسکن با میکروسکوپ الکترونی شامل بمباران سطح نمونه آماده شده به روش بالا توسط اشعه‌ای از الکترون‌ها می‌باشد. سپس الکترون‌های عبور کرده از سطح الکترون‌های بازتاب شده و پراکنده شده توسط پراب مخصوص جمع‌آوری شده و از روی میزان و درصد این الکترون‌ها می‌توان وضعیت قرص را ارزیابی نمود.

۴-۲-۳- پراکنش اشعه X

این روش به طور معمول جهت بررسی و شناخت عناصر تشکیل دهنده مواد ناشناس کاربرد دارد و در عین حال می‌تواند به عنوان معیاری از تغییر خواص قرص‌ها طی شرایط تخریب مختلف و تنش‌های الکتریکی به کار رود. به این منظور میزان پراکنش اشعه X با فرم‌های استاندارد مقایسه می‌گردد.

۴-۲-۴- طیف‌نگاری اشعه تابشی

روش طیف‌نگاری اشعه تابشی نیز مشابه روش قبل صورت می‌گیرد با این تفاوت که نوع اشعه مورد

۲- آماده کردن نمونه‌ها جهت مشاهده با میکروسکوپ نوری (برش عمودی و صاف کردن سطح و تراش نمونه‌ها)

۳- مشاهده نمونه‌های آماده شده با میکروسکوپ نوری

۴- بررسی نمونه‌ها با روش پراکنش اشعه X

۵- پوشانیدن سطح نمونه‌ها با کربن

۶- به کار بردن روش طیف نگاری اشعه تابشی

۶- نتایج حاصل از آزمایشات

مقادیر به دست آمده از آزمایشات پیشنهادی برای هشت برق گیر از کلاس های مختلف در جداول زیر نشان داده شده‌اند. [2] این نتایج اثر تنزل کیفیت و پیری را بر قرص های وریستور آشکار می‌سازند:

جدول ۱- نتایج اندازه گیری ولتاژ مرجع 1mA

MOSA	قبل از شناسایی	بعد از شناسایی	درصد تغییرات
D1	۱۳/۱ و ۱۳/۳	۱۳/۴ و ۱۳/۷	۲/۳ و ۳/۱
D2	۱۳/۱ و ۱۳/۲	۱۳/۲ و ۱۳/۵	۰/۸ و ۲/۳
D3	۱۳/۱ و ۱۳/۲	۱۳/۸ و ۱۴/۱	۵/۳ و ۶/۸
D4	۱۳/۳ و ۱۳/۵	۱۳/۶ و ۱۳/۹	۲/۳ و ۳/۰
S1	۶/۷ و ۶/۹	۷/۰ و ۷/۱	۴/۳ و ۲/۹
S2	۶/۶ و ۶/۶	۶/۵ و ۶/۸	-۱/۵ و ۳/۰
S3	۶/۷ و ۶/۸	۶/۸ و ۶/۹	۱/۵ و ۱/۵
S4	۶/۸ و ۶/۹	۷/۰ و ۷/۱	۳/۰ و ۲/۹

جدول ۲- ولتاژ باقیمانده بر حسب کیلو ولت

MOSA	قبل از شناسایی	بعد از شناسایی	درصد تغییرات
D1	۳۴/۷	۳۳/۰	-۴/۹
D2	۳۴/۶	۳۳/۰	-۴/۶
D3	۳۵/۶	۳۳/۶	-۵/۶
D4	۳۵/۴	۳۴/۳	-۳/۱
S1	۱۸/۱	۱۷/۸	-۱/۷
S2	۱۸/۱	۱۷/۷	-۲/۲
S3	۱۸/۰	۱۷/۸	-۱/۱
S4	۱۸/۱	۱۷/۸	-۱/۷

۵- نحوه انجام آزمایشات

مجموعه آزمایشات در دو مجموعه موسوم به روش های قبل از شناسایی و بعد از شناسایی صورت می‌گیرند:

۵-۱- روش های قبل از شناسایی

این آزمایشات قبل از اعمال پالس بر روی نمونه‌ها صورت می‌گیرند، لذا در این حالت قرص‌ها در حالت کاملاً سالم می‌باشند. ترتیب آزمایشات به فرم زیر می‌باشد:

۱- اندازه‌گیری ولتاژ مرجع در جریان 1mA

۲- اندازه‌گیری ولتاژ تخلیه (ولتاژ مرجع) در جریان

نامی 10 KA با شکل موج ۸/۲۰ میکروثانیه

۳- اندازه‌گیری ولتاژ بازگشتی

۴- اندازه‌گیری جریان‌های پلاریزاسیون

۵- اتصال کوتاه جهت از بین رفتن اثر پلاریزاسیون قبلی

۶- انجام آزمایشات مخرب مذکور در بخش (۲-۴)

۵-۲- تنزل کیفیت مصنوعی

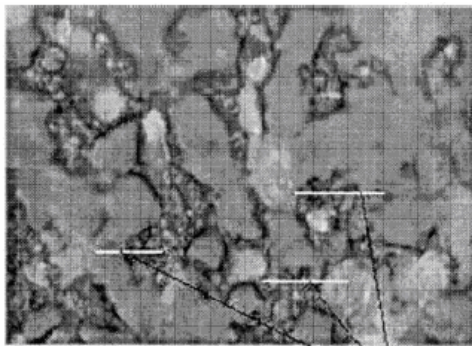
در این قسمت ۱۵ پالس صاعقه جریانی با شکل موج ۸/۲۰ میکروثانیه با دامنه‌های ۱ pu، ۲ pu و ۴ pu جهت بررسی فرایند تنزل کیفیت بر روی قرص‌های وریستور اعمال می‌گردد. بهره‌گیری از تنزل کیفیت مصنوعی بدان علت است که فرایند پیری و تنزل کیفیت در مدت زمان طولانی اتفاق می‌افتد بنابراین بایستی به طور مصنوعی این اثرات را با روش سریعتری در قرص‌ها ایجاد نمود. [2]

۵-۳- روش های پس از شناسایی

به آزمایشاتی که پس از اعمال پالس‌های اضافه ولتاژ روی قرص‌های برق‌گیر صورت می‌پذیرد، روش‌های پس از شناسایی گویند. مراحل این بخش به قرار زیر است:

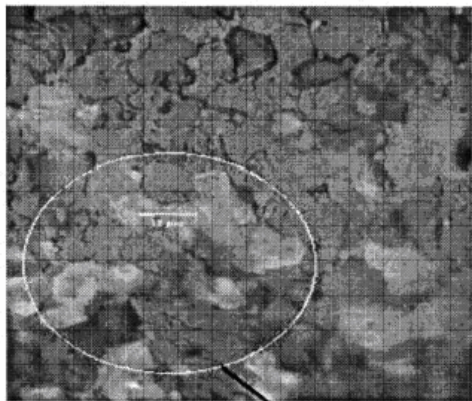
۱- تکرار مراحل ۱، ۲، ۳ و ۴ از روش‌های قبل از شناسایی

شکل‌های زیر تصاویر حاصل از بررسی قرص‌های وریستور به کمک تکنیک‌های مخرب که در بخش ۲-۴ تشریح گردید را نمایش می‌دهند. این تصاویر اثر اعمال پالس بر روی ذرات وریستور را نشان می‌دهند:



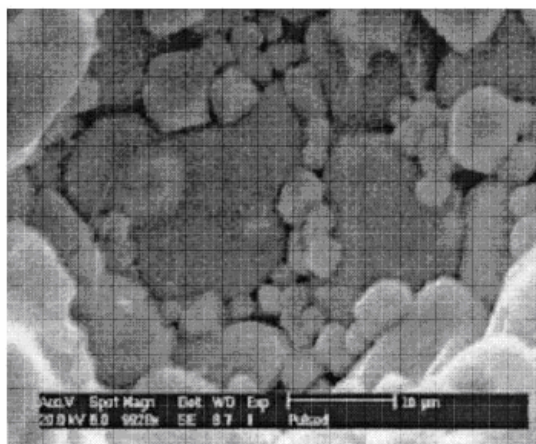
الف - بلوک وریستور جدید

سایز متوسط ذرات = $26 \mu\text{m}$



ب - بلوک تحت پالس قرار گرفته
نقاط نورانی تمرکز شدید

شکل ۴ - بلوک‌های $D3$ تحت پالس قرار گرفته و قرار نگرفته



شکل ۵ - مشاهده قرص تحت پالس قرار گرفته توسط میکروسکوپ الکترونی

جدول ۳- نتایج ولتاژ بازگشتی

MOSA	قبل از شناسایی	بعد از شناسایی	درصد تغییرات
D1	۲۸/۸	۱۶/۲	-۴۳/۸
D2	۲۸/۸	۲۰/۳	-۲۹/۵
D3	۳۰/۵	۱۱/۸	-۶۱/۳
D4	۳۰/۳	۲۳/۱	-۲۳/۸
S1	۲۸/۷	۲۶/۰	-۹/۴
S2	۲۷/۹	۲۵/۳	-۹/۳
S3	۲۹/۵	۲۵/۱	-۱۴/۹
S4	۲۷/۹	۲۷/۱	-۲/۹

الف-ولتاژ بازگشتی ماکزیمم برحسب V

MOSA	قبل از شناسایی	بعد از شناسایی	درصد تغییرات
D1	۱۳۶/۲	۸۴/۱	-۳۸/۹
D2	۱۲۳/۷	۱۱۸/۲	-۴/۴
D3	۱۷۹/۷	۴۸/۹	-۷۲/۸
D4	۱۷۹/۷	۱۲۳/۹	-۳۱/۱
S1	۱۵۲/۹	۹۵/۲	-۳۷/۷
S2	۱۹۶/۴	۱۰۵/۴	-۴۶/۳
S3	۱۵۸/۳	۱۰۶/۴	-۳۲/۸
S4	۱۴۴/۷	۱۱۸/۴	-۱۸/۲

ب-ثابت زمانی میانی بر حسب ثانیه

جدول ۴- نتایج آزمایش پلاریزاسیون / دیپلاریزاسیون

MOSA	قبل از شناسایی	بعد از شناسایی	درصد تغییرات
D1	۱/۷	۱/۹۴	۱۴/۱
D2	۱/۷۱	۱/۹۸	۱۵/۸
D3	۱/۷۴	۲/۴۸	۴۲/۵
D4	۱/۹۹	۱/۹۶	-۱/۵
S1	۳/۲۴	۳/۴۵	۶/۵
S2	۳/۵۱	۳/۸۲	۸/۸
S3	۳/۴۱	۳/۴۶	۱/۷
S4	۳/۳۷	۳/۴۶	۲/۷

قرص که در بالا ذکر گردید و ایجاد نقطه داغ در محل مورد نظر ایجاد گردیده است.

۸- نتیجه گیری

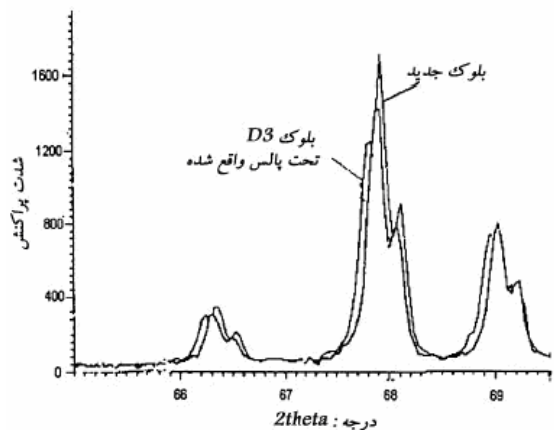
تحلیل نتایج حاصل از آزمایشات مذکور نشان می‌دهند که:

- رسانایی تمام برق‌گیرها پس از اعمال پالس جریان و برگشت به حالت اولیه نسبتاً افزایش یافت، که نشان می‌دهد، خاصیت عایقی برق‌گیر در اثر فرسودگی کاهش می‌یابد.
- ولتاژ بازگشتی و ثابت زمانی میانی تمام برق‌گیرها پس از اعمال پالس‌های مختلف جریان کمی کاهش یافته و اندازه ذرات نمونه‌های تحت پالس قرار گرفته کاهش یافت. این امر تایید مجددی بر مطالب بند قبل می‌باشد.
- آزمایش پراکنش اشعه X جابجایی نقطه پیک را نشان داد. این امر نشان می‌دهد که شبکه مولکولی ماده در اثر تنزل کیفیت دستخوش تغییرات اساسی شده است.
- در برق‌گیرهای تنزل کیفیت یافته تغییرات نتایج اندازه‌گیری ولتاژ مرجع در محدوده $\pm 5\%$ مجاز باقی ماند. یعنی این برق‌گیرها با وجود تنزل کیفیت آزمایشات استاندارد را با موفقیت سپری نمودند.
- با توجه به موارد ذکر شده می‌توان گفت روشهای آزمایشی موجود در استاندارد جهت تایید کیفیت برق‌گیر کافی نمی‌باشند، لذا لازم است، به این منظور از روشهای کاملتری همانند آنچه در این مقاله ذکر گردید، استفاده گردد.

۹- فهرست منابع و مراجع

- [۱] علیرضا اعتضاد، بررسی عوامل خرابی برق‌گیرها و روشهای بررسی کیفیت و پایش آنها، سمینار کارشناسی ارشد، دانشگاه علم و صنعت ایران، آذر ماه ۱۳۸۴

[2] K.P. Mardia, T.K. Saha, R.A. Sutton " Investigation of Diagnostic Techniques for Metal Oxide Surge Arresters ", IEEE



شکل ۶- پراکنش اشعه X روی بلوک جدید و تحت پالس قرار گرفته

۷- تحلیل نتایج

از نتایج آزمایشات ملاحظه گردید که چگونه ایمپالس‌های جریانی سبب ایجاد تغییرات در نتایج حاصل گردید. ولتاژ بازگشتی و ثابت زمانی میانی برای تمامی برق‌گیرها پس از اعمال ایمپالس‌های جریانی مختلف کاهش می‌یابد. در برخی از انواع برق‌گیرها این امر باعث می‌گردد که ولتاژ بازگشتی به حدود 39% مقدار اولیه خود برسد. محاسبه رسانایی برق‌گیرها مطابق رابطه (۱) نشان می‌دهد که رسانایی تمامی برق‌گیرها پس از اعمال پالس‌های جریانی متنوع با شیب قابل توجهی زیاد می‌شود. این امر نشان می‌دهد که خاصیت عایقی برق‌گیر در اثر تنزل کیفیت کاهش می‌یابد. توسط میکروسکوپ نوری مشاهده گردید که اندازه ذرات قرص از 26 میکرومتر به حدود 12 میکرومتر کاهش یافته است. در بررسی توسط میکروسکوپ تمرکز نوری بیشتری در نمونه‌های تحت پالس واقع شده مشاهده گردید. این رخداد به علت رسانایی غیر یکنواخت قرص و تولید جریان بیشتر در برخی نقاط ایجاد می‌گردد. چنانچه در شکل (۶) دیده می‌شود موقعیت نقطه پیک موج جابجا گردیده است. این امر بیانگر تغییرات ایجاد شده در ساختار ماده ناشی از تنزل کیفیت می‌باشد. همچنین روش طیف سنجی اشعه تابشی نشان داد، در نمونه‌های تنزل یافته در برخی نقاط، تجمع ذرات ZnO و بیسموت بسیار بیشتر شده است، این به احتمال زیاد به همان دلیل رسانایی غیر یکنواخت

- [10] M.Jaroszewski, J.Pospiezna, " *An Assessment of Aging of Oxide Varistors Exposed to Pulse Hazards Using Dielectric Spectroscopy*", IEEE International Conf. on Solid Dielectrics, Toulouse, France, July 5-9, 2004.
- [11] H.Zhu, M.R.Raghuveer " *Influence of Representation Model and Voltage Harmonics on Metal Oxide Surge Arrester Diagnostics*", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.16, No.4, OCTOBER 2001.
- [12] INTERNATIONAL STANDARD IEC 60099-4 " *Metal Oxide surge arresters without gaps for a.c. systems*" Edition 1.1 1998-08
- [13] V. Hinrichsen " *Metal Oxide surge arresters Fundamentals* "1st Edition, Siemens Application Guide, June 2001
- Transactions On Dielectrics and Electrical Insulation, Vol.12, No.1, February 2005.
- [3] C.Heinrich, V. Hinrichsen " *Diagnostics and Monitoring of Metal-Oxide Surge Arresters in High-Voltage Networks_Comparison of Existing and Newly Developed Procedures* ", IEEE Transactions On Power Delivery, Vol.16, No.1, JANUARY 2001.
- [4] S.N.Fernando, M.R.Raghuveer " *Techniques to Examine the Influence of Voltage Harmonics on Leacage current Based MOSA Diagnosttic Indicator*", IEEE Conf. on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, 2000 Canada.
- [5] X.Yan, Y.Wen, X.Yi " *Study on the Resistive Leacage Current Characteristic of MOV Surge Arresters*", ", IEEE Conf. on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, 2002 China.
- [6] M.Jaroszewski, K.Wieczorek, W.Bretuj, " *Influence of Partial Discharges on ZnO Varistors*", IEEE International Conf. on Solid Dielectrics, Toulouse, France, July 5-9, 2004.
- [7] W.Yongqiang, L.Fangcheng " *Influence of Power System's Harmonic Voltage on Leacage current of MOA*", Asia Pacific Conf. on Enviromental Electromagnetics, China, 2003.
- [8] K.P. Mardia, T.K. Saha, " *Modern Electrical Diagnostics for Metal Oxide Surge Arresters*", IEEE Transactions On Dielectrics and Electrical Insulation, Vol.12, No.1, February 2002.
- [9] K.P. Mardia, T.K. Saha, R.A. Sutton " *The Effect Of Electrical Degradation on the Microstructure of Metal Oxide Varistor* ", IEEE Transactions On Power Delivery, Vol.20, No.2, April 2001.