



دانشگاه زنجان

دانشکده مهندسی

گروه برق

پایان نامه کارشناسی

گرایش: قدرت

عنوان: مکان یابی تخلیه جزئی با استفاده از روش های نوری در ترانسفورماتور

های قدرت

استاد راهنما:

دکتر حسن رضا میرزائی

علی ملک زاده

نیمسال دوم ۹۴-۹۵

ماحصل آموخته‌هایم را تقدیم می‌کنم به آنان که مهر آسمانی شان آرایش بخش آلام زمینی ام است

به استوارترین تکیه گاه زندگیم پدرم

و به مادر دلسوز و مهربانم که سجده ایشان کل محبت را در وجودم پروراند

و با سپاس بی کران بر بهمنی و همکارانی استاید گرامی در طول دوران تحصیل به خصوص استاد میرزایی که مراد

کرد آوری و نگارش این پایان نامه بسیاری نمودند

و با تشکر از تنهابرادرم که در تدوین نگارش و ترجمه مقالات این پایان نامه مرا یاری نموده است

فهرست مطالب

چکیده

فصل اول : تخلیه جزئی

۱-۱ تعریف تخلیه جزئی

۲-۱ نحوه رخداد تخلیه جزئی

۳-۱ انواع تخلیه جزئی

۴-۱ تخلیه جزئی در ترانسفورماتور

فصل دوم : انواع روش های آشکارسازی تخلیه جزئی

۱-۲ آشکارسازی شیمیایی

۲-۲ آشکارسازی الکتریکی

۳-۲ آشکارسازی آکوستیکی

فصل سوم : آشکارسازی تخلیه جزئی با استفاده از روش های نوری

۱-۳ بررسی ماهیت سیگنال های نوری تولید شده توسط PD آزمایشگاه پروژه برق

۲-۳ روش اول آشکارسازی نوری

۳-۳ روش دوم آشکارسازی نوری

۴-۳ روش سوم آشکارسازی نوری

۵-۳ مقایسه روش های رایج آشکارسازی تخلیه جزئی با روش های نوری

۶-۳ بررسی و تحلیل کابل فیبرنوری فلئورسنت دار

جمع بندی

منابع

چکیده

تخلیه جزئی^۱ نوعی تخلیه الکتریکی ناقص است که بخاطر افزایش شدت میدان الکتریکی

فراتر از میزان تحمل عایقی در یک ناحیه محدود از ساختار عایقی و به دلیل وجود

ناخالصی یا عدم یکنواختی عایق صورت می پذیرد. در وسایل و ادوات فشار قوی

ترانسفورماتورهای قدرت، وقوع این پدیده باعث کم شدن عمر عایق و در نهایت شکست

الکتریکی در تجهیز می گردد. آنچه ذکر شد بخشی از پاسخ به این سوال است که چرا

آشکار سازی تخلیه جزئی^۲ را در سیستم های قدرت انجام می دهیم.

در واقع این امر برای مانیتورینگ میزان سلامت تجهیزات انجام می شود و اگر این پدیده

آشکار سازی نشود و در پی آن رفع مشکل صورت نپذیرد، در نتیجه دامنه و فرکانس PD

تا جایی افزایش پیدا کند که در نهایت منجر به خرابی در ترانسفورماتور قدرت می شود. در

برخی مواقع شدت این خرابی تا حدی است که باعث وارد شدن آسیب به تجهیزات

خارجی، آتش گرفتن و یا کم شدن بازدهی آن و همچنین قطع بی برنامه و طولانی مدت

برق و انتقال توان در شبکه قدرت می شود.

قابلیت آشکار سازی PD به صورت آنلاین یکی از نیازهای ضروری هر کمپانی است که از

ترانسفورماتور قدرت استفاده می نماید تا در مرحله نخست سلامتی و ایمنی پرسنل خود را

افزایش دهد و از طرف دیگر در جهت کاهش تلفات توان و سرویس دهی بهتر قدم برداشته

باشد.

پدیده PD در انواع سیگنال های فیزیکی قابل مشاهده است و شامل پالس های الکتریکی

و آکوستیکی می شود. این پدیده معمولاً توسط مجموعه ایی از تکنیک های اندازه گیری

خارجی آشکار سازی می شود. این تکنیک ها شامل استفاده از سوق دهی الکتریکی و روش

های شیمیایی و مبدل پیزو الکتریک (PZT) بر مبنای آشکار سازی آکوستیکی می باشند.

^۱ partial discharge (PD)

^۲ partial discharge detection.

سیاری از سیستم های مدرن در حال حاضر ترکیبی از دو آشکار سازی رایج را استفاده می کنند چرا که آشکار سازی الکتریکی روش قدیمی و تکنولوژی تثبیت شده را دارا بوده و همچنین آشکار سازی آکوستیکی مزیت نصب سنسور در خارج از مخزن ترانسفورماتور را دارا می باشد. این روش بدون اینکه مشکلی را برای ترانسفورماتور ایجاد کند می تواند آشکار سازی تخلیه جزئی را انجام دهد.

البته اگر بتوان سنسورهای آکوستیکی را در داخل ترانسفورماتور نصب نمود نه تنها مزیت آشکار سازی بهتری را بخاطر افزایش دامنه سیگنال آکوستیک خواهیم داشت بلکه مزیت عدم تداخل و حذف مسیرهای چند گانه پیش روی سیگنال آکوستیک را نیز بدان اضافه خواهیم نمود. در این صورت مکان یابی PD نیز در زمان کوتاه تر و با دقت بیشتری همراه خواهد بود.

در این اینجا سنسور آکوستیک نوری را معرفی می کنیم که می تواند منشاء PD را با قابلیت قرار گیری در داخل مخزن ترانسفورماتور آشکار سازی نماید. این سنسور ویژه می تواند نویزهای داخل ترانسفورماتور را بدون ایجاد خدشه در عملکرد خود تحمل نموده و به صورت آنلاین در ترانسفورماتور وظیفه دریافت سیگنال آکوستیک را انجام دهند همچنین این پایان نامه به معرفی آزمایشات و عملیاتی که به جهت معتبر سازی سیستم آشکار سازی و مکان یابی PD توسط سنسورهای فیبر نوری می پردازد و علاوه بر این در این پایان نامه انواع روش های آشکار سازی توسط فیبر نوری نیز بررسی می گردد.

فصل اول

تخلیه جزئی



۱-۱ تعریف تخلیه جزئی

در ابتدا اجازه دهید از تعریفی که استاندارد بین المللی^۳ IEC در این رابطه ارائه کرده استفاده کنیم: تخلیه جزئی^۴ (PD)، یک نوع تخلیه الکتریکی متمرکز شده ایی است که فقط پل های الکتریکی جزئی را در میان الکترودهای رسانا به وجود می آورد و ممکن است مجاور هادی باشد و یا نباشد [7].

در ادامه تعریف تخلیه جزئی قصد داریم تعریفی را که دکتر محسنی ارائه نموده اند را معرفی کنیم، تعریف ایشان بدین شرح می باشد:

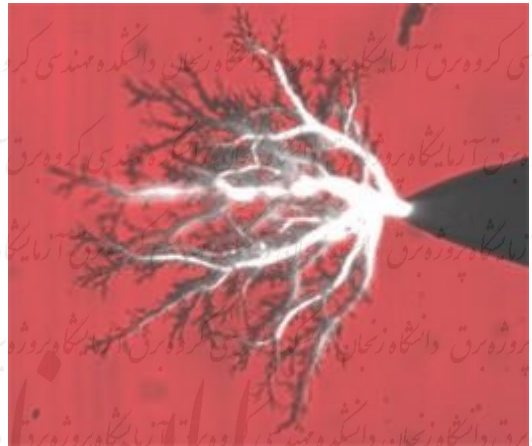
در مواردی ممکن است شدت میدان الکتریکی در همه طول بین آند و کاتد یک اندازه نباشد. یعنی ممکن است آند یا کاتد و یا نقطه ایی بین آنها، شدت میدان زیاد باشد و شرایط تخلیه در آن قسمت ها به وجود بیاید ولی در سایر قسمت ها به دلیل کمی شدت میدان الکتریکی شرایط لازم برای تخلیه کامل موجود نباشد. در این حالت تخلیه در قسمتی یا جزئی از طول عایق انجام می شود و شکست کامل عایق انجام نمی گیرد، به این نوع تخلیه، تخلیه جزئی می گویند.

در نهایت تعریف سوم که تعریف معمول نیز می باشد :

تخلیه جزئی نوعی تخلیه الکتریکی ناقص است که بخاطر افزایش شدت میدان الکتریکی فراتر از میزان تحملی عایق در یک ناحیه محدود از ساختار عایقی و بدلیل وجود ناخالصی و یا عدم یکنواختی عایق صورت می پذیرد [2].

³ International Electro technical commission.

⁴ Partial discharge.



شکل ۱-۱ پدیده درختی شدن

هر سه تعریفی که در بالا ارائه شد همگی در کل در بر گیرنده نکاتی هستند که به تشریح

آنها می پردازیم.

نکته اول: تخلیه جزئی عموماً نتیجه تمرکز تنش الکتریکی در یک نقطه خاص از عایق، در

داخل و یا روی سطح آن است. معمولاً چنین تخلیه هایی به شکل پالس هایی در طول بازه

زمانی کمتر از یک میکرو ثانیه ظاهر می شوند (پالس های ضربه ای). در اکثر مواقع شکل

تخلیه موجود در دی الکتریک های گازی به صورت تخلیه های بدون پالسی صورت می

پذیرد. این نوع تخلیه به صورت معمولی، با روش های اندازه گیری معرفی شده در

استاندارد IEC آشکار سازی نمی شود.

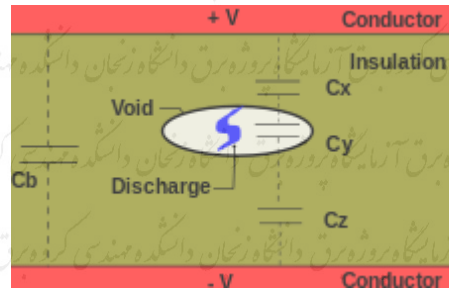
نکته دوم: کرونا شکلی از تخلیه جزئی است که در محیط های گازی پیرامون هادی ها

اتفاق می افتد و وقوع آنها در محیط های عایقی جامد و مایع بعید می باشد. پدیده کرونا را

نبایستی بعنوان واژه عمومی برای این نوع تخلیه مورد استفاده قرار داد.

برای بررسی دقیق تر نحوه رخداد تخلیه جزئی می توان سیستم عایقی را توسط اتصال

تعدادی خازن طبق شکل زیر مدل نمود.



شکل ۱-۲ سیستم عایقی ترانسفورماتور

۲-۱ نحوه رخداد تخلیه جزئی

برای اینکه بدانیم تخلیه جزئی چگونه صورت می پذیرد. به ناچار بایستی تئوری شکست الکتریکی در گازها را مورد بررسی قرار دهیم وقوع شکست الکتریکی در یک حجم گازی زمانی اتفاق می افتد که قبل از آن بهمن الکترونی اتفاق افتاده شود وقتی بهمن الکترونی رخ بدهد بار آزاد افزایش پیدا می کند پس امکان برخورد های این بارهای آزاد با ذرات گازها بیشتر می گردد.

در اثر برخورد سه نوع اتفاق ممکن است رخ دهد:

(۱) دو ذره در دو مسیر متفاوت با سرعت متفاوت به حرکت خود ادامه می دهند (برخورد

لاستیکی)؛

(۲) ممکن است که در اثر برخورد یک ذره با ذره دیگر یکی از الکترونها تحریک شده و به

یک لایه بالاتر برود و چون توانایی ماندن در آنجا را ندارد به لایه تراز اصلی خود بر می

گردد. و انرژی حاصله از دریافت ضربه برخورد را به صورت انرژی الکترومغناطیسی به

محیط اطراف پخش می نماید.

(۳) ممکن است در اثر برخورد ذره بار خود را از دست بدهد یعنی یک الکترون از ذره جدا

شده و در این صورت یک ذره به سه ذره باردار تبدیل خواهد شد در اثر برخورد ناشی از

وجود شدت میدان بزرگتر در داخل حباب و روند افزایش تصاعدی یونها، بهمن الکترونی در

داخل حباب صورت می پذیرد و تخلیه جزئی در داخل حباب اتفاق می افتد. لازم به ذکر

است که تعداد الکترونها و ذرات باردار در یک پدیده تخلیه جزئی غیر قابل پیش بینی بوده

و یک PD می تواند در عرض چند دقیقه و یا چند ساعت شکست الکتریکی در حباب را به وجود آورد.

دو شرط باید برآورده شود تا تخلیه جزئی در داخل ناحیه ضعیف یک سیستم عایقی گسترده آغاز گردد: (۱) شدت میدان الکتریکی موضعی E در ناحیه ضعیف بزرگتر از میدان الکتریکی شروع PD باشد (۲) الکترون های آزاد برای شکست الکتریکی کافی باشند

تنش بیش از اندازه در ناحیه ضعیف ممکن است ناشی از اشتباهات طراحی، آلودگی و یا انحراف از تلورانس های مجاز در حین فرآیند ساخت و یا حتی صدمه به عایق بندی توسط تست های پیشین باشد.

تخلیه جزئی می تواند به صورت پالس های الکتریکی و آکوستیکی و گاهی اوقات به صورت سیگنال های نوری قابل مشاهده باشد. البته باید خاطر نشان کرد که هنوز ماهیت کامل سیگنال ها و مکانیزم های دقیق یک تخلیه جزئی کاملاً درک نشده است و هر چند که رهنمودهای بی قاعده ایی را طراحان و سازندگان در انواع مختلف برای آشکار سازی سیستم تخلیه جزئی ارائه نموده اند.

۱-۳ انواع تخلیه جزئی

تخلیه های جزئی، تخلیه های الکتریکی متمرکز شده در داخل هر نوع سیستم عایقی هستند که در هر تجهیز و یا دستگاه الکتریکی این پدیده رخ می دهد در کل PD ها در قسمتی از مواد دی الکتریک مورد استفاده در تجهیز محدود می شوند و فقط پل های رسانای جزئی از جریان را در بین الکترودهایی که ولتاژ به آنها اعمال شده را تشکیل می دهند. با این حال عایق می تواند شامل مواد جامد، مایع یا مواد گازی و یا ترکیبی از آنها باشد. واژه تخلیه جزئی شامل گروه گسترده ایی از پدیده های تخلیه می باشد:

(۱) تخلیه های الکتریکی داخلی در حباب ها و یا حفره های بین دی الکتریک های جامد و یا مایع؛

(۲) تخلیه سطحی ظاهر شده در مرزهای مواد عایقی مختلف؛

۳) تخلیه های از نوع کرونا که در دی الکتریک های گازی و در حضور میدانهای ناهمگن مثل سطح های تیز اتفاق می افتد.

۴) بر خورد پیوسته تخلیه های موجود در دی الکتریک های جامد که کانالهای تخلیه را به وجود می آورند. (پدیده درختی شدن، پدیده ترینگ یا واتر ترینگ)

اهمیت تخلیه جزئی بخاطر تشخیص میزان عمر عایق و میزان سلامتی عایق است.

هر نوع حادثه تخلیه باعث تغییر شکل شیمیایی در مواد به وسیله برخورد انرژی دار یون های شتاب دار و یا الکترونها با انرژی بالا می گردد. بسیاری از انواع تخلیه ها که در بالا به آنها اشاره شد در یک بازه زمانی محدود وابستگی شدید به نوع ولتاژ اعمالی و دامنه ولتاژ اعمالی دارند. همچنین بدیهی است که فرسایش عایقی به مواد مورد استفاده کیفیت تولید آن نیز وابسته است. تخلیه های از نوع کرونا در هوا هیچ دخالتی روی عمر متوسط خطوط هوایی ندارند، اما PD ها در عمر عایقی دی الکتریک های از نوع ترموپلاستیک^۵ مثل PE تاثیر گذار هستند و می توانند باعث شکست عایقی در کمتر از چند روز در عایق گردند. از این رو هدف نهایی بسیاری از تحقیقات بر روی تخلیه جزئی به عمر عایقی مواد مشخصی معطوف می گردد.

یکی از پدیده هایی که در ارتباط با تجهیزات برق دار به خصوص خطوط انتقال نیرو و تجهیزات فشار قوی مانند پلاسما ناشی از تخلیه الکتریکی مطرح می شود، کرونا یا هاله است.

هنگامی که گرادیان ولتاژ در سطح یک هادی بیش از شدت دی الکتریک هوای اطراف هادی گردد، هوای اطراف هادی یونیزه می شود (توجه داریم که شدت دی الکتریک هوا در شرایط دمای ۲۵ درجه سلسیوس و فشار هوای ۷۶ سانتیمتر جیوه ۳۰ کیلو ولت بر سانتیمتر می باشد) حال اگر گرادیان ولتاژ بیش از ۳۰ کیلو ولت بر سانتیمتر گردد با پدیده کرونا مواجه خواهیم شد و میدان الکتریکی در نزدیکی ماده رسانا می تواند به حدی متمرکز شود که هوای مجاور خود را یونیزه نماید. این مسئله می تواند منجر به تخلیه جزئی انرژی الکتریکی شود، که به آن کرونا می گویند.

^۵ . ارتجاع پذیر به هنگام حضور در مقابل حرارت

دانشجویان محترم:

جهت دسترسی به متن کامل پایان نامه‌ها به کتابخانه دانشکده مهندسی و یا آزمایشگاه پروژه گروه برق مراجعه فرمایید.

جمع بندی

آشکارسازی و مکان یابی تخلیه جزئی در ترانسهای فشار قوی یک ابزار ضروری در مانیتورینگ سلامتی الکتریکی عایق ها و تنش های الکتریکی است و اگر آسیب عایقی تشدید گردد تجهیز بایستی یک خرابی فاجعه انگیز را تجزیه کند که نه تنها باعث قطع بدون برنامه برق می گردد بلکه تجهیز گران قیمت ترانسفورماتور را نیز از دست می دهیم و همچنین محیط پیرامون، سلامتی و ایمنی پرسنل مربوط با ترانسفورماتور را نیز به خطر می اندازیم. تخلیه جزئی یکی از نشانه های شکست عایقی است. گستردگی خطاها در

عایق باعث عبور جریان الکتریکی از نقطه ضعیف عایقی می شود و به مرور زمان باعث تلفات در انرژی و هم از پاشیدگی عایق می گردد. بعلاوه آسیب عایقی ناشی از PDها به مراتب بدتر از سایر آسیب ها است چرا که بر اثر این حادثه هم تنش الکتریک و هم تنش مکانیکی بیشتری را به خاطر ماهیت ذاتی PD بر عایق و شکاف عایقی وارد می سازیم.

بنابراین وجود آشکارسازی و مکان یابی دقیق برای ترانسهای قدرت ضروری است تا حفاظت و نگهداری تجهیز از لحاظ مدت زمان تشخیص عیب و تعمیر آن محدود و کاهش یابد.

این پایان نامه یک سیستم آشکارسازی و مکان یابی آکوستیکی را ارائه نمود که شامل آرایه های سنسور آکوستیک فیبر نوری بر اساس روش های مختلف آشکارسازی می باشد. سنسورهای مورد استفاده از لحاظ شیمیایی و الکتریکی بر کارکرد اصلی

ترانسفورماتور بی تأثیر هستند و این قابلیت را دارند که در داخل ترانسفورماتور بدون تغییر

در عملکرد ترانسفورماتور کار کنند. این قابلیت تاکنون در تجهیزات تجاری آشکارسازی

PD هنوز در دسترس نیست، همین امر به سنسورها این امکان را می دهد تا اندازه گیری

سیگنال را با دامنه بزرگتری داشته باشیم و همچنین از مزاحمت و وجود خطاهای ناشی از

مسیرهای چندگانه مصون گردیم که این امر ناشی از تغییر سرعت آکوستیک پالس عبوری

از مسیرهای مختلف در ترانسفورماتور بود.

نتایج آزمایشات تجربی و آزمایشات شبیه سازی ارائه شده تا عملکرد سیستم آشکارسازی و مکان یابی PD را با پارامترهای مخصوصی مورد تأیید قرار دهیم.

هدف نهایی این پروژه طراحی و ارائه سیستم مکان یابی و آشکارسازی برای تجهیزات قدرت تجاری است. کار ارائه شده در این پایان نامه معرف مطالعات اولیه لازم برای دسترسی به هدف و تعیین حدود و امکان سنجی آن می باشد. قبل از اینکه این سیستم در این موضوع ارائه شود مطالعات اضافی لازم خواهد بود.

در درجه نخست بررسی بیشتر در مورد خود پدیده تخلیه جزئی. همانطور که در فصل سوم گفته شد موافقت کلی در منابع مورد استفاده درباره پالسهای آکوستیکی PD وجود دارد که شامل محتوای فرکانس و مدت پالس می باشد.

این ابهام مشکل بزرگی را در بهینه سازی مشخصه های سنسور برای آشکارسازی پدیده PD بوجود می آورد.

نکته دوم در مورد مطالعه بیشتر در پاسخ فرکانسی می باشد. آزمایش پاسخ فرکانسی گزارش شده در فصل سه بر مبنای سیگنال با برخورد معمولی روی دیافراگم سنسور است. با این حال در ترانسهای قدرت

هیچ تضمینی وجود ندارد که موجهای آکوستیکی برخورد عمود با سطح سنسور داشته باشند.

در حقیقت در آزمایش مکان یابی آزمایشگاه تشریح شده در فصل سه سنسور محدود به

تلاقی عمود با سیگنال فرض شده بودند. یک آنالیز المان نامحدود (FEA) (Finite Element Analysis) دیافراگم، هنگامی فراخوانی شده که یک سیال چسبناک در یک

طرف، مقدار درونی را در داخل عملکرد سنسور ایجاد می کند و می تواند در افزایش حساسیت ویژگی های طراحی مورد استفاده قرار گیرد. بعلاوه شناخت ابعاد مختلف پاسخ

فرکانس اجازه ساخت مؤثر آرایه های سنسور را برای محاسبات تفکیک آنها فراهم می

سازد مدل FEA همچنین بایستی در محیط آزمایشگاه معتبر، معتبر سازی گردد؛ که بسیار شبیه به پاسخ فرکانس های ارائه شده در این پایان نامه است.

نکته سوم تحقیقات بیشتر بررسی در مورد تأثیر انسداد مسیر انتشار موج آکوستیک در داخل مخزن ترانسفورماتور است. چرا که با توجه به ماهیت ناهمگن مخزن، این موضوع بسیار مهم است که بدانیم چگونه یک سیگنال هنگام عبور از روغن معدنی ترانسفورماتور در یک تجهیز HVT تضعیف و یا تجزیه به چند مؤلفه می گردد. نتایج مطالعه این نوع تحقیق و بررسی می تواند در تعیین مکان سنسور در مخزن ترانسفورماتور و وابستگی آن به پاسخ فرکانس مورد استفاده قرار گیرد. یک طراحی مؤثر از پیکربندی سنسور برای پوشش بهتر سیگنال در داخل مخزن ترانسفورماتور می تواند تعداد سنسورها را نیز کاهش دهد.

مطالعه نهایی جلوگیری از وجود نویز در حین نمونه برداری است که لازم است قبل از اینکه تجهیز دچار یک PD با گستره بزرگتر گردد از وقوع نویز به جهت کاهش خطا و جلوگیری از دخالت نویز مخصوصاً در این تکنیک ضروری است که باید نسبت سیگنال به نویز مربوط به سیگنال اندازه گیری PD بهبود یابد و بنابراین دقت و سیستم موقعیت یاب افزایش پیدا می کند. نکته آخر در مورد مطالعه بیشتر در آزمایش میدان کل سیستم در دنیای واقعی HVT دقت درست سیستم و همچنین بهبود بهتر و بهینه سازی می تواند کارکرد سیستم را تحت شرایط واقعی تعیین کند. داده های بدست آمده از چندین آزمایشات این اجازه را به کمپانی های تجاری می دهد که از این داده ها در ساخت و عایق بندی این سیستم در HVT ها استفاده کنند.

منابع

[1] Xiaodong Wang, Baoqing Li, Harry T. Roman, Onofrio L. Russo, Ken Chin, and Kenneth R. Farmer , "Acousto-optical PD Detection for Transformers" , IEEE TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY, VOL. 21, NO. 3, JULY 2006

[2] R. Schwarz, M. Muhr, "Modern Technologies in Optical Partial Discharge Detection " , 2007 Annual Report Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena

[3] Ju Tang 1, Jiabin Zhou 1,2,*, Xiaoxing Zhang 1 and Fan Liu, "A Transformer Partial Discharge Measurement System Based on Fluorescent Fiber " , Energies 2012, 5, 1490-1502; doi:10.3390/en5051490

[4] Michael Muhr, Robert Schwarz, "EXPERIENCE WITH OPTICAL PARTIAL DISCHARGE DETECTION " , Graz University of Technology, Inffeldgasse 18, 8010 Graz, Austria, Europa

[5] H. Borsi, P. Werle, E. Gockenbach, " Various Partial Discharge measurement and evaluation techniques Adapted to different transformer types" , Institute of Electric Power Systems, Division of High Voltage Engineering, Schering-Institute University of Hannover, Germany

[6] Jiangdong Denga; *, Hai Xiaob, Wei Huoa, Ming Luob, Russ Maya, Anbo Wanga, Yilu Liua, "Optical fiber sensor-based detection of partial discharges in power transformers" , Optics & Laser Technology 33 (2001) 305–311

[7] Forsyth K.W., "Optical partial discharge detection", Iris Rotating machine Technical Conference, March 1998