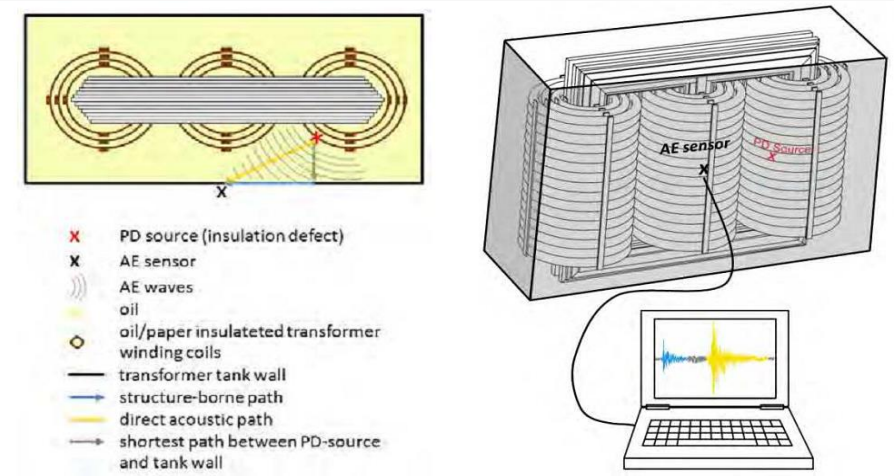
ترانسفورماتورهای قدرت و آکوستیک امیشن

مانیتورینگ تخلیه جزئی با آکوستیک امیشن (AE)

روش آکوستیک امیشن همانند روش الکتریکی بر روی اکتساب داده‌ها و ثبت سیگنال‌های تولیدشده از تخلیه جزئی تمرکز دارد. با این حال به جای بدست‌آوردن سیگنال‌های الکتریکی، این روش در طول مدتی که تخلیه جزئی اتفاق می‌افتد، سعی در درک نمودن سیگنال‌های آکوستیک امیشن و ثبت آن‌ها دارد. این سیگنال‌ها به دلیل عبور جریان‌های بسیار کوتاه مدت از داخل حباب به‌وجود می‌آیند. عبور جریان باعث ایجاد حرارت به صورت نوارهای باریکی می‌شود که باعث بخارشدن مواد پیرامون حباب می‌گردد. این بخارها همچنین باعث ایجاد یک نوع انفجار انرژی جنبشی می‌شوند که به صورت انتشار سیگنال‌های آکوستیک امیشن در داخل مخزن و انتقال به دیواره‌ی آن نمایان می‌گردد. با اتصال سنسورها روی دیواره خارجی مخزن روغن، این سیگنال‌ها دریافت و مکان آن تعیین می‌گردد.

مزیت اولیه این روش نسبت به روش‌های الکتریکی و شیمیایی، اطلاعات موقعیت و مکان تخلیه جزئی است که این روش به راحتی با قراردادن چند سنسور در اختیارمان قرار می‌دهد.چنین اطلاعاتی از موقعیت **PD** می‌تواند ما را در تشخیص نوع آن به همراه شدت آسیب عایقی در محل خطا کمک کند. اطلاعات موقعیت و مکان تخلیه جزئی می‌تواند به تکنسین‌ها در تعمیر نقطه آسیب عایقی به جهت اطلاعات دقیقی که در مورد مکان تخلیه جزئی در اختیارشان قرار می‌دهد کمک نماید. مزیت دیگر این آزمون، مصونیتی است که از عدم تداخل الکترومغناطیسی[1] می‌توانیم داشته باشیم. مزیت مصونیت از عدم تداخل الکترومغناطیسی به ما این امکان را می‌دهد که آشکارسازی تخلیه جزئی را به‌صورت آنلاین دنبال نماییم. چرا که نسبت نویز به سیگنال[2] بهتری نسبت به پالس‌های الکتریکی در محیط‌های با نویز بالا داریم و این امر باعث می‌شود که سیگنال‌های آکوستیک امیشن کمتر اطلاعات غلط بدهند. با این حال مصونیت از عدم تداخل الکترومغناطیسی این معنی را نمی دهد که سیگنال‌های **AE** در سیستم دچار هیچ نویزی نمی‌شوند. لرزش‌های مکانیکی در هسته ترانسفورماتور منبعی برای تولید نویزهای آکوستیکی است ولی خوشبختانه محتوای فرکانسی این لرزش‌ها بقدر کافی کمتر از محتوای فرکانسی سیگنال‌های آکوستیک امیشن می‌باشد.

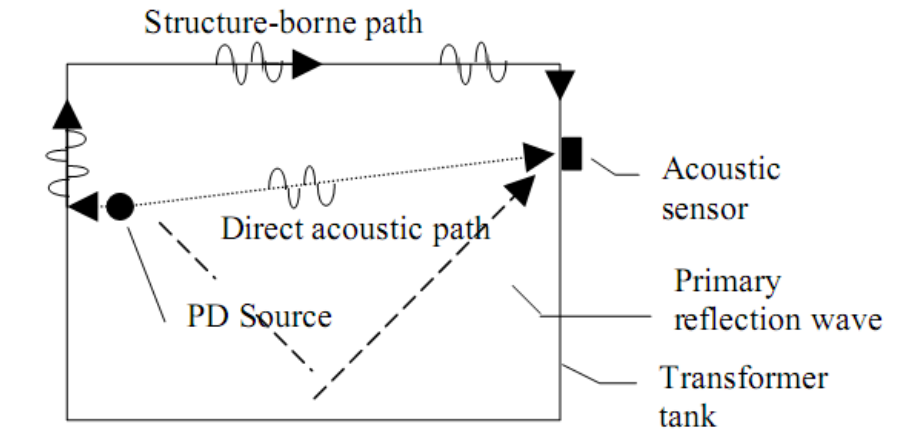
[1] Electromagnetic Interference(EMI)
[2] Signal to Noise Ratio(SNR)



انتشار موج آکوستیک امیشن در مخزن ترانسفورماتور

مسئله‌ی اصلی در ترانسفورماتورهای قدرت عدم همگنی محیطی است که سیگنال ایجاد شده توسط تخلیه جزئی برای رسیدن به سنسور می‌پیماید.محیط آکوستیکی درون مخزن روغن بسیار پیچیده است که منجر به پدیده‌هایی از قبیل بازتاب موج[3] و تفرق[4] در مواد مختلف می‌گردد.

بطور کلی موج دو مسیر را برای رسیدن از منبع به سنسور طی می‌نماید.مسیر مستقیم[5] و مسیری که از طریق دیواره‌ی مخزن[6] می‌پیماید. وقتی که موج به دیواره‌ی مخزن برخورد می‌کند، ویژگی‌های فرکانسی آن ثابت می‌ماند ولی مد انتشار و سرعت انتشار تغییر می‌کند. شکل زیر این موضوع را بیان می‌کند.



انتشار موج آکوستیک ناشی از **PD** در ترانسفورماتور

[3] Wave Reflection
[4] Diffraction
[5] Direct Path
[6] Structure-borne Path

سرعت انتشار موج به محیط انتشار بستگی دارد. سرعت انتشار موج در فلز بیشتر از روغن است. بنابراین ممکن است موج از مسیر بدنه‌ی مخزن زودتر از مسیر مستقیم به سنسور برسد. اگر مبنای محاسبه‌ی مسافت بر پایه‌ی محاسبه‌ی زمان رسیدن از طریق بدنه با استفاده از سرعت انتشار در روغن باشد، سبب ایجاد خطا در محاسبه‌ی محل **PD** می‌گردد. بنابراین ضروری است که سرعت انتشار در بدنه‌ی مخزن را تخمین بزنند.

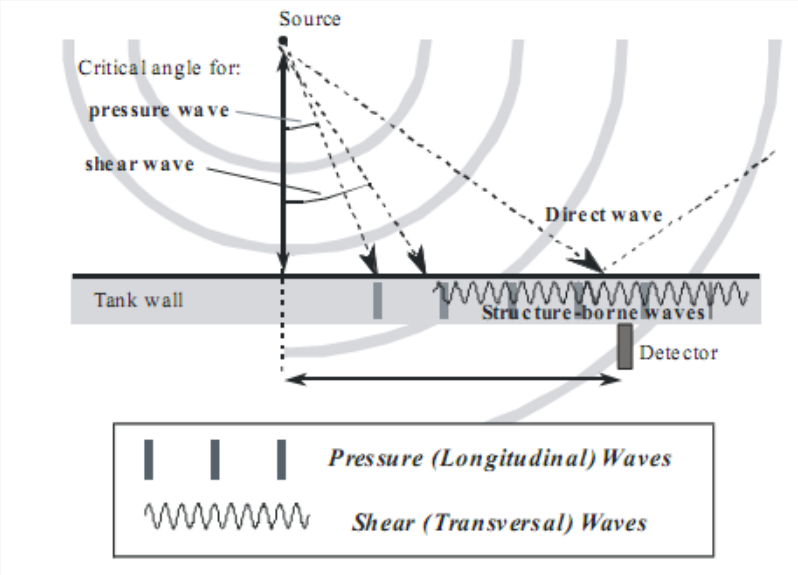
سرعت انتشار موج در روغن ۲۰ درجه ساتنیگراد برابر با **m/s**۱۴۱۳، در صفحات هسته **m/s** ۱۵۰۰، در مس **m/s** ۳۵۷۰ و در استیل **m/s** ۵۱۰۰ می‌باشد. سرعت انتشار موج در روغن وابستگی به دمای روغن و میزان رطوبت دارد.

رابطه‌ی بین دمای روغن و سرعت موج

Temperature of oil (°C)	Velocity (m/s)
50	1300
80	1200
110	1100

روشی مناسب برای تمیز قائل شدن بین موجی که از طریق بدنه منتقل شده است با موجی که مسیر مستقیم درون روغن را پیموده‌است، آنالیز مود ارتعاشی[7] موج است.در سیالات مانند روغن، تنها امواج فشاری[8] منتشر می‌گردند در حالی که در جامدات مانند استیل انواع مختلفی از حرکت موج مشاهده می‌گردد.موج برشی[9] دامنه‌ی بالاتری دارد و بدینوسیله قابل شناسایی است. در حالیکه موج فشاری سریعتر است و ممکن است زودتر به سنسور برسد.

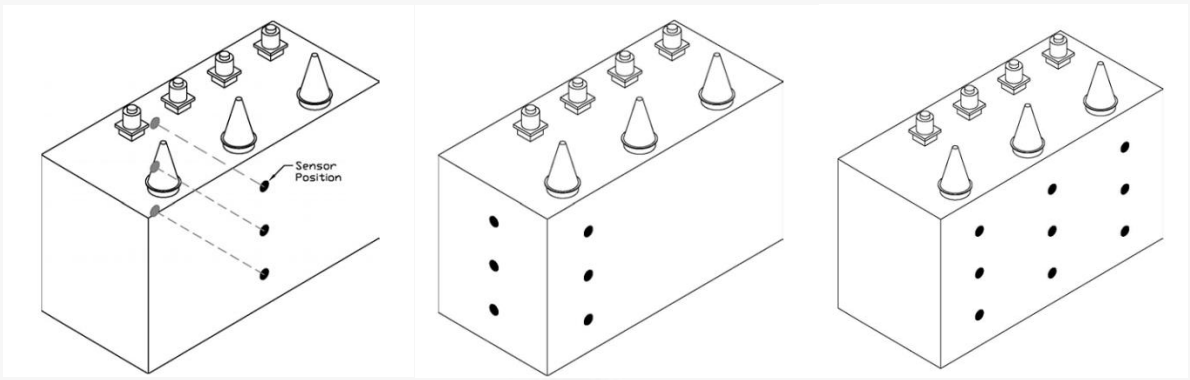
[7] Vibration Mode
[8] Pressure Wave
[9] Shear Wave



موج برشی و موج فشاری

فرکانس اصلی **PD** با بزرگی حدود ۱۵۰ **pC** برابر با ۱۰۰ **KHz**است. معمولا کاربران از سنسورهایی با فرکانس رزونانس ۶۰ **KHz** یا ۱۵۰ استفاده می‌کنند. برای **PD** های بزرگتر، فرکانس باید کاهش یابد.همچنین میراشدن فرکانس‌های بالا بیشتر از فرکانس‌های پایین است. معمولا سنسورهای ۶۰ **KHz** برای آزمون در کارخانه و آزمایشگاه و سنسورهای **KHz** ۱۵۰ زمانی که آزمون در سایت انجام می‌شود، مورد استفاده قرار می‌گیرد. در سایت فرکانس‌های مزاحم[10] در محدوده‌ی فرکانسی ۲۰ **KHz** الی ۶۰ **KHz** وجود دارد که می‌تواند منجر به ایجاد خطا در ردیابی **PD** گردد به همین دلیل از سنسورهای متفاوتی نسبت به تست آزمایشگاهی استفاده می‌شود. برای اتصال سنسورها به دیواره‌ی مخزن از ژل یا گریس مخصوص معروف به کوپلنت[11] استفاده می‌گردد. کوپلنت‌های با ویسکوزیته‌ی بالاتر مناسبتر است زیرا کوپلنت‌های با ویسکوزیته‌ی پایین نمی‌تواند امواج برشی را منتقل نماید. شکل‌های زیر محل‌های نصب و تعبیه سنسورها در انواع ترانسفورماتورها را توضیح می‌دهد.

[10] Noise
[11] Couplant



محل‌های نصب سنسورها

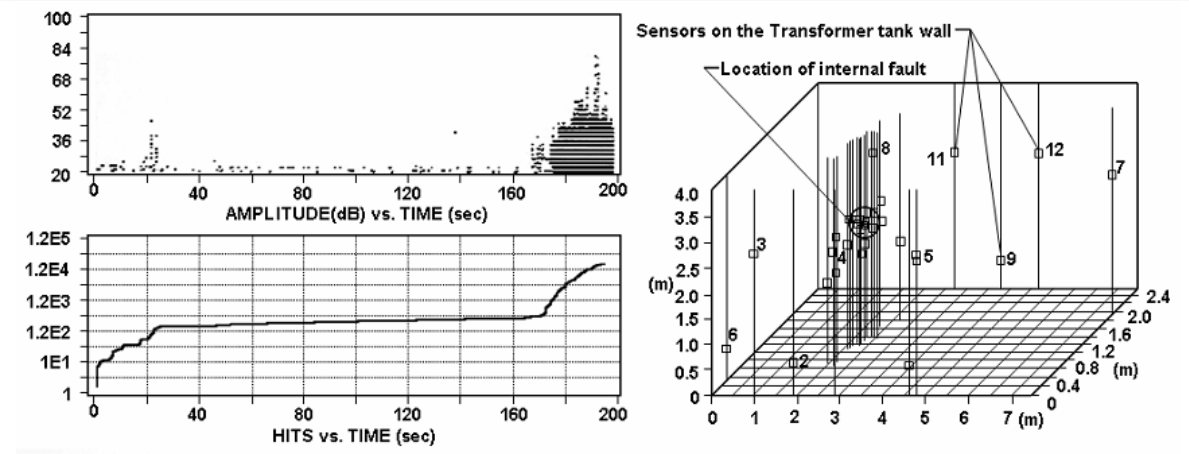
البته این روش نیز مانند سایر روش‌ها دارای محدودیت‌هایی می‌باشد. اولین مسئله، ماهیت پیچیده‌ی انتشار موج آکوستیک امیشن است. از آنجایی که ترانسفورماتورهای قدرت شکل ناهمگنی دارند، لذا موج‌های منتشر شده بصورت کامل در یک محیط کروی سیر نمی‌کنند. منشاء و منبع تولید سیگنال آکوستیک امیشن متأثر از موضوع بازتاب و انعکاس در داخل مخزن و نویزپذیری در مسیرهای چندگانه‌ی انتشار و همچنین آشفتگی و پراکندگی و جذب در روغن، باعث می‌شود که دامنه‌ی سیگنال‌ها تضعیف گردد.

مطالعات موردی

مورد (۱):

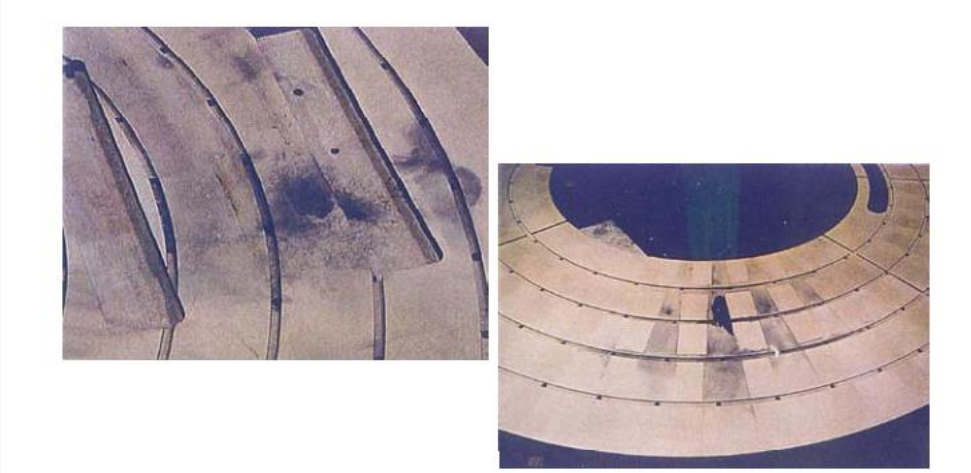
در حین آزمون ولتاژ القا شده[12] در آزمایشگاه، فعالیت **PD** در یک ترانس ۳فاز، **۲۵۰MVA**، **۵KV**، ۴۰۰/۱۲۱/۱۰، ساخته شده در سال ۱۹۹۸ توسط روش الکتریکال آنالوگ اندازه‌گیری شد. با استفاده از آزمون آکوستیک امیشن محل **PD** مشخص گردید که نتایج آن در شکل زیر مشخص است.

[12] Induced Voltage



نمایش محل‌های **PD** در مخزن ترانسفورماتور

پس از دمونتاژ کردن ترانسفورماتور، یک تخلیه الکتریکی غیرعادی داخلی در فاز**A** ملاحظه گردید (شکل زیر). عایق بین استرس رینگ[13] سیم‌پیچ **KV** ۱۱۰ و هسته‌ی بالایی[14] شکسته بود.



تخلیه الکتریکی داخلی

مورد (۲):

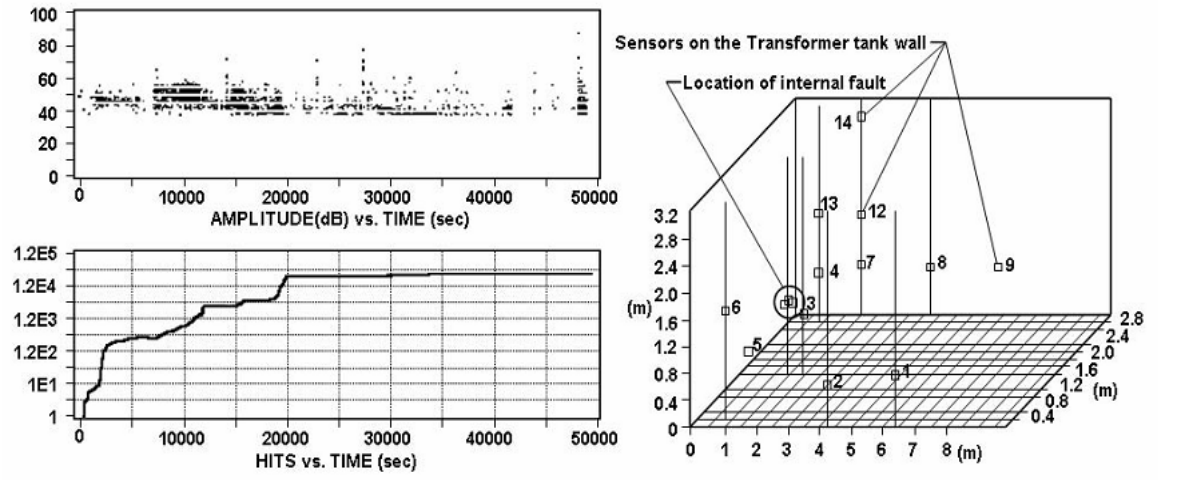
نتیجه‌ی آزمون آنالیز گازی برای یک ترانس**MVA** ۳۵۰ مدل ۱۹۷۶، **KV** ۴۰۰/۱۱۵/۳۵ در جدول زیر آمده‌است. وجود دی-اکسیدکربن نشانه‌ای از وجود **PD** در عایق سلولزی می‌باشد.

[13] Stress Ring
[14] Upper Yoke

نتیجه‌ی آزمون آنالیز گازی برای یک ترانس **MVA** ۳۵۰ مدل ۱۹۷۶

Sample date	H2 (ppm)	O2 (ppm)	N2 (ppm)	CH4 (ppm)	CO (ppm)	CO2 (ppm)	C2H4 (ppm)	C2H6 (ppm)	C2H2 (ppm)
30-X-92	141	8757	23 314	5	59	362	1	1	0
02-II-93	388	15 794	48 396	18	217	1423	1	3	1
06-IV-93	439	13 986	39 287	15	242	1519	2	4	1
29-X-93	569	16 412	45 363	20	383	2436	1	4	1
18-XII-96	359	21 799	59 595	44	527	4225	2	7	1
09-XII-97	360	19 084	54 129	31	519	3357	4	8	1
16-XI-98	403	21 457	58 815	30	482	4298	4	8	1
12-III-99	407	24 992	68 877	26	357	3352	3	7	1

فعالیت ناپایدار تخلیه جزئی در طی ۱۴ساعت داده‌برداری با آزمون آکوستیک امیشن ملاحظه شد که پس از مکان‌یابی مشخص شد که محل خطا در نزدیکی هسته‌ی خنک کننده‌ی فاز **A** بوده‌است(شکل زیر) و لذا تصمیم‌گیری شد که ترانس در سرویس باقی بماند.



نمایش محل فعالیت‌های آکوستیکی در مخزن ترانسفورماتور

گزارش آزمون گازکروماتوگرافی:

جدول میزان عناصر موجود در روغن ترانسفورماتور به شرح زیر است:

میزان عناصر موجود در روغن ترانسفورماتور

تاریخ نمونه گیری تاریخ تحلیل		1391/02/27 1391/02/31	1391/01/26 1391/01/30			
GAS Name - Formula		Result -ppm				
Carbon Dioxide	CO2	2056.938	1928.702			
Ethylene	C2H4	13.872	14.383			
Acetylene	C2H2	112.333	103.054			
Ethane	C2H6	0	0.585			
Hydrogen	H2	32.711	31.366			
Oxygen	O2	22138.6	22031.7			
Nitrogen	N2	51063.3	51343.4			
Methane	CH4	9.359	9.093			
Carbon Monoxide	CO	80.329	73.498			
Propylene	C3H6	-	-	-	-	-
ropane	C3H8	-	-	-	-	-
-Butene	C4H8	-	-	-	-	-
TDCG		248.604	231.979			

وجود عناصر مختلف و میزان آن در روغن، می‌تواند راهنمایی جهت بررسی اتفاقات و نوع عیوبات موجود در ترانسفورماتور باشد. جدول زیر این موضوع را توضیح می‌دهد (**IEEE Guide C57.104**).

مقایسه‌ی نوع عیب با عناصر موجود در روغن

Gas	Chemical Formula	Predominant Source
Nitrogen	N_2	Inert gas blanket, atmosphere
Oxygen	O_2	Atmosphere
Hydrogen[1]	H_2	Partial discharge
Carbon dioxide	CO_2	Overheated cellulose, atmosphere
Carbon monoxide[1]	CO	Overheated cellulose, air pollution
Methane[1]	CH_4	Overheated oil (Hot metal gas)
Ethane[1]	C_2H_6	Overheated oil
Ethylene[1]	C_2H_4	Very overheated oil (May have trace of C_2H_2)
Acetylene[1]	C_2H_2	Arcing in oil

مقایسه جداول فوق (وجود عناصر هیدروژن و استیلن)، وجود دو عیب تخلیه جزئی وجرقه زنی در روغن را پیش‌بینی می‌نماید.