

Studiul tehnicilor de măsurare a descărcărilor parțiale în condiții de perturbații intense, utilizate în prezent, la nivel internațional

1.Introducere

Măsurarea descărcărilor parțiale este una dintre cele mai interesante metode pentru verificarea stării dielectrice a echipamentelor de tensiune înaltă. Această metodă a fost folosită cu succes în laboratoarele de înaltă tensiune, perfect ecranate electromagnetic, pentru evidențierea atât a defectelor incipiente cât și a celor periculoase pentru funcționarea sigură a transformatoarelor. Transferul tehnicii de măsurare în laborator către măsurarea în condiții de perturbații electromagnetice intense, specifice stațiilor de distribuție a energiei electrice, pentru verificarea izolației transformatoarelor la locul lor de funcționare nu poate fi făcută fără dezvoltări substanțiale ale aparaturii folosite și a metodelor de prelucrare a semnalelor achiziționate.

Sunt cunoscute următoarele metode de măsurare a descărcărilor parțiale:

- electrică
- acustică și
- ultra înaltă frecvență.

Dintre acestea cea mai cunoscută și frecvent utilizată este metoda electrică care este bine reglementată tehnic și procedural de către standardul IEC 60270. Celelalte două metode sunt în stadiu de experimentări pentru evaluarea performențelor de precizie și de identificare a naturii defectului.

2.Implementarea metodei electrice pentru măsurări on-site

Măsurarea descărcărilor parțiale pe cale electrică în condiții de perturbații electromagnetice intense a devenit posibilă după apariția aparatelor numerice de înregistrat fenomene tranzitorii, inclusiv descărcările parțiale.

Tehnica de achiziție a semnalelor electrice s-a dezvoltat impresionant începând cu anul 1995, ajungându-se azi la frecvențe de achiziție de 200MHz și rezoluție de 12biți. Pe piață se găsesc aparate numerice pentru măsurarea descărcărilor parțiale produse de firmele:

- Haefely cu aparatul TE 571 PD Analyser;
- Lemke Diagnostics cu aparatul LDS-6 Digital PD Measuring & Diagnostic System;
- Bidde cu aparatul 27000 Partial Discharge Detector;
- Power Diagnostix Systems cu aparatul ICM system.

Aceste aparate sunt folosite cu succes pentru măsurările din laboratoarele ecranate electromagnetic dar performanțele lor tehnice nu sunt suficiente pentru măsurările on-site.

Pentru măsurările on-site este necesar un sistem de detecție bazat pe tehnica de procesare a semnalelor [1]. El trebuie să fie capabil să elimine semnalele perturbatoare fără a schimba caracteristicile semnalului util.

În această direcție s-au făcut multe cercetări fără însă să se fi lansat pe piață un sistem de măsurare unanim acceptat.

Astfel firma EDF, Les Renardières a dezvoltat un sistem de detecție on-line a descărcărilor parțiale pentru transformatoare de măsură [2]. Particularitățile tehnice ale acestui sistem sunt:

- Creșterea raportului semnal/zgomot care se realizează folosind un algoritm de scădere spectrală derivat din tehnica de atenuare a zgomotului acustic în vorbire;

- Detecția și discriminarea descărcărilor.

Semnalele sunt caracterizate prin parametri statistici cum sunt valoarea medie sau deviația standard. Acești parametri sunt folosiți pentru a defini un prag superior al semnalelor achiziționate.

Semnalele achiziționate sunt procesate pentru a elimina descărcările provenite din exteriorul transformatorului de măsură folosindu-se tehnica

“3-phases coupling”. Această tehnică constă în identificarea descărcărilor care apar simultan pe faze diferite cu un factor de atenuare al amplitudinii mic. Acestea sunt considerate descărcări externe.

Se aplică apoi tehnica “time-windowing” semnalelor de pe fiecare fază. Prin această tehnică se elimină descărcările care apar poziționate la momentul valorii de vârf a tensiunii înalte al aceleiași faze. Această tehnică este eficientă pentru eliminarea descărcărilor de tip Corona.

Laboratorul Hydro-Quebec (IREQ) Canada a făcut studii pentru măsurarea semnalelor de descărcări parțiale în condiții de perturbații cu nivel mare [3].

Circuitul de încercare constă din impedanțe de măsurare cuplate la bușele de măsurare a fiecărei treceri izolate de înaltă tensiune a transformatorului și fiecare impedanță de măsurare legată electric la intrarea aparatului de măsurat descărcări parțiale. În plus pe legătura de punere la pământ a neutrului transformatorului este montat un transformator de curent de înaltă frecvență. După filtrare și amplificarea semnalelor de înaltă frecvență au fost conectate la un osciloscop digital Tek 444 prin cabluri coaxiale de lungimi egale pentru a se obține aceiași timpi de întârziere.

Un impuls de etalonare a fost injectat la terminalele transformatorului și semnalele culese de la impedanțele de măsurare și de la transformatorul de curent de înaltă frecvență au fost măsurate și înregistrate simultan cu osciloscopul digital. Timpul de întârziere între semnalele provenite de la terminalul de înaltă tensiune și neutru ca și raportul lor în amplitudine au fost folosite pentru identificarea ulterioară a descărcărilor parțiale.

Pentru identificarea semnalelor perturbatoare s-a folosit tehnica analizei formei undei și compararea amplitudinii semnalelor provenite de la terminalele de înaltă tensiune. Din caracteristica filtrului folosit se determină principala frecvență de oscilație a semnalelor.

Dacă frecvențele sunt mai mari decât frecvența filtrului atunci se concluzionează că semnalul este extern circuitului de măsurare.

Prin compararea raportului amplitudinilor între faze și neutru obținute la etalonare cu cele obținute în timpul măsurării descărcărilor parțiale se pot selecta semnalele provenite de la descărcările parțiale de cele produse de perturbațiile externe.

Autorii recunosc că au avut probleme majore în discriminarea semnalelor de descărcare parțială de cele provenite de la perturbațiile externe chiar atunci când au făcut măsurarea în laborator ecranat.

Laboratorul de Înaltă Tensiune al Universității Tehnice din Delft – Olanda a întreprins cercetări pentru recunoșterea automată a descărcărilor parțiale [4].

Folosirea calculatoarelor în măsurările de descărcări parțiale [5] a deschis noi posibilități pentru recunoașterea automată a acestora [6-9]. Prin măsurarea deplasării sarcinii, natura descărcării parțiale poate fi identificată după forma distribuției descărcărilor și a impulsurilor individuale.

Distribuțiile pot fi obținute prin măsurarea descărcărilor cu tehnica eșantionării timpului [10] sau prin sistemul de detecție convențional, al descărcărilor parțiale conform IEC 60270. Aceste distribuții sunt folosite de mulți cercetători [11, 12, 13] pentru recunoașterea defectelor.

A fost observat că distribuțiile se pot schimba semnificativ în timpul îmbătrânirii izolației [9, 14, 15]. Acest fenomen a fost folosit pentru evaluarea gradului de degradare a izolației. Din păcate nu s-au putut identifica decât puține distribuții tipice pentru anumite defecte și acest lucru a condus către procedura de discriminare în care operatorul cu multă experiență face acest lucru off-line.

Deoarece transformatoarele de putere reprezintă o componentă importantă din punct de vedere strategic și economic al sistemelor energetice naționale, asigurarea funcționării corespunzătoare a acestora este de o importanță crucială pentru păstrarea echilibrului economic al statului căruia îi aparține.

Un defect serios dintr-un transformator de putere conduce la străpungerea izolației care generează costuri substanțiale pentru reparare și pierderi financiare provocate de lipsa de energie electrică într-o zonă geografică însemnată.

De aceea în ultimii ani s-a trecut de la faza de cercetare în laborator a diferitelor metode de măsurare a descărcărilor parțiale în condiții de perturbații mari la aceea de experimentări în condiții reale [16].

Principalele probleme tehnice la măsurătorile în exploatare sunt:

-Asigurarea sursei de alimentare a transformatorului. La această problemă s-au găsit patru soluții și anume:

- folosirea unui grup motor-generator de putere mare asociat cu un transformator ridicător de tensiune lipsit de descărcări parțiale;
- folosirea unui generator diesel și a unui transformator ridicător de tensiune;
- folosirea unui circuit rezonant serie [17, 18];
- folosirea rețelei în care funcționează transformatorul [19].

Primele 3 soluții presupun deplasarea la locul de energizare a transformatorului a unor unități cu gabarit și greutate mari. Au avantajul că perturbațiile care se manifestă în circuitul de măsurare a descărcărilor parțiale sunt mai mici decât în cazul în care transformatorul este alimentat din rețeaua electrică.

-Discriminarea semnalelor utile de cele produse de perturbațiile externe.

Cea mai simplă soluție este cea propusă de firma ABB care are în circuitul de măsurare un analizor de spectru cu bandă de trecere îngustă selectabilă. În prima etapă se alege frecvența centrală a filtrului de bandă îngustă pentru a se obține cel mai bun raport semnal-zgomot în domeniul de frecvență 200kHz-5MHz. Apoi se trece la etalonarea circuitului înregistrându-se semnalele care se transmit de la faza transformatorului supusă etalonării către toate celelalte puncte de măsură.

În ultima etapă se efectuează măsurarea descărcărilor parțiale înregistrându-se spectrele semnalelor impulsurilor de descărcări parțiale și distribuția descărcărilor în funcție de faza tensiunii înalte.

O altă metodă este a laboratorului CESI-Milano care folosește circuitul de măsurare în bandă largă a semnalelor electrice pe care le discriminează de zgomotul mediului ambiant prin luarea în considerație numai a impulsurilor mai mari decât cele mai mari perturbații și care sunt plasate față de faza tensiunii înalte

în zona specifică descărcărilor parțiale în izolația hârtie-ulei. Pentru a crește credibilitatea metodei se folosește în același timp metoda măsurării pe cale acustică a descărcărilor parțiale.

Metoda folosită de ICMET Craiova constă în executarea măsurării cu transformatorul alimentat de la rețeaua de înaltă tensiune la care el este cuplat. Pentru a obține semnalul util se folosește un filtru digital într-o procedură off-line. Metoda actuală se pretează a fi perfecționată prin dezvoltarea unui sistem de achiziție sincronă a semnalelor de la toate terminalele de înfășurări ale transformatorului. În acest fel s-ar reduce semnificativ timpul de lucru al operatorului (de la cca 16 ore la o oră) și ar putea fi chiar automatizată faza de prelucrare a semnalelor.

3. Metoda acustică de măsurare a descărcărilor parțiale

Din experiența organizației CIGRÉ s-a constatat că detecția acustică a descărcărilor parțiale are în general o sensibilitate bună numai când există o linie dreaptă între locul descărcării și locația senzorului. Dacă defectele sunt în interiorul înfășurărilor sau al miezului ele devin evidente numai dacă nivelul lor este semnificativ. În particular, defectele de izolație pot să aibă un domeniu de frecvență acustică între 35 și 50kHz care se suprapune peste domeniul de zgomot al miezului transformatorului (40 la 60kHz) iar acest lucru crează probleme la detecție.

De asemenea descărcările care se propagă în interfața ulei-hârtie sunt dificil de detectat cu metoda acustică.

Având în vedere avantajele metodei acustice de măsurare a descărcărilor parțiale au fost dezvoltate diferite tehnici de măsurare.

Astfel la:

ABB Corporate Research – Suedia a fost dezvoltat un senzor acustic în bandă largă 20-120kHz pentru că s-a constatat că descărcările parțiale cu nivelul de circa 100pC sunt detectate pe frecvența de 100kHz. Pentru localizarea defectului s-

a folosit metoda celor 3 traductoare montate în vârfurile unui triunghi echilateral cu lungimea laturilor de 15cm [22].

Universitatea Hartford – Statele Unite ale Americii a fost dezvoltat un echipament pentru diagnosticarea defectelor din transformatoarele de putere care se bazează pe tehnica emisiei acustice a semnalelor de descărcare parțială.

Senzorii folosiți sunt în bandă largă 50-350kHz. Semnalele sunt achiziționate și analizate printr-o tehnică de procesare a semnalelor special concepută care se bazează pe metoda corelării în bandă largă (WBC) [24].

ICMET Craiova a dezvoltat un echipament pentru măsurarea descărcărilor parțiale prin metoda acustică [25].

Pentru detectarea emisiei acustice (EA) a descărcărilor parțiale au fost dezvoltați senzori rezonanți (bandă îngustă) pentru frecvențele 25, 65 și 125kHz precum și un echipament electronic care să conducă procesul de achiziție, prelucrare și afișare a rezultatelor.

Deoarece încercările în laborator pe modele de sisteme de izolație corespunzătoare tensiunii nominale de 123kV au arătat că există o relație între nivelul DP și frecvența EA s-au ales senzori cu o frecvență proprie de 65kHz deoarece ei sesizează cel mai bine DP cu nivele între 5000 și 20000pC.

Universitatea din Stuttgart a dezvoltat un algoritm pentru localizarea surselor de descărcare parțială din izolația hârtie-ulei a transformatoarelor de putere [26] bazat pe tehnica GPS (Global Positioning System). Procedeu constă în folosirea a 4 senzori și măsurarea sincronă a semnalelor captate de aceștia după inițierea unui semnal de triggerare. În acest caz necunoscuta care ajută la rezolvarea sistemului de ecuații este timpul de offset Δt care este timpul de declanșare a triggerului care inițiază înregistrarea semnalelor provenite de la 4 senzori.

4. Detectarea descărcărilor parțiale (DP) în spectrul de ultra înaltă frecvență (UIF)

Tehnica UIF a fost recent folosită în domeniul diagnosticării transformatoarelor și este în continuare dezvoltată pentru că are un mare potențial pentru detecția on-line, recunoașterea și localizarea DP.6.

În urma experimentărilor efectuate pe modele sau transformatoare reale s-a tras concluzia că metoda UIF este mai puțin sensibilă la zgomotul electromagnetic al mediului înconjurător precum și la existența unor bariere izolante în compoziția izolației [27]. Mai mult, în comparație cu alte tehnici de măsurare a DP semnalele de UIF s-au dovedit cele mai sensibile la gradul de îmbătrânire a izolației [28].

Pe plan internațional au fost efectuate mai multe experimente cu tehnici diferite de măsurare astfel:

În cadrul Universității DEFT din Olanda [29] au fost executate măsurări în domeniul timp atunci când cel puțin un senzor detectează o activitate în domeniul UIF. În acel moment osciloscopul este trigerat și forma de undă este înregistrată simultan de toți cei patru senzori. Procedura de detectare și înregistrare continuă timp de câteva ore pentru a se acumula date interpretabile statistic. Detecția indică cu aproximație zona în care este localizat defectul în funcție de poziția senzorului care a înregistrat amplitudinea maximă și are timpul cel mai scurt de la care a început înregistrarea.

Poziția sursei de DP se determină off-line printr-un software special care ține cont de: coordonatele fiecărui senzor, viteza de propagare, lungimea parcursului în interiorul transformatorului, diferența între timpii în care ajung semnalele detectate de fiecare senzor. Precizia tehnicii de localizare a DP este puternic afectată de modul în care sunt determinați timpii de sosire a semnalului de DP la fiecare senzor. Procesul de localizare a surselor de DP care își au originea în defecte incipiente depinde de mai mulți factori cum sunt: intensitatea sursei, distanța de la sursă la senzori, construcția transformatorului (ecrane, tip de miez, materiale folosite) și desigur de tipul defectului.

Prin folosirea unui analizor de spectru conectat la unul dintre senzori s-au identificat frecvențele care sunt proprii activității de DP dintr-un transformator. Prin asocierea spectrului de frecvență cu diversele tipuri de defecte se poate recunoaște natura defectelor.

În domeniul frecvență folosind analizorul de spectru drept filtru acordabil se poate realiza suprimarea efectivă a zgomotului prin alegerea benzii de frecvență cu cel mai mare raport semnal / zgomot, ceea ce conduce la obținerea unor configurații ale repartizării impulsurilor de DP în funcție de faza tensiunii înalte similare cu cele obținute cu circuitul de măsurare pe cale electrică, standardizat.

Acest lucru s-a realizat fixând frecvența centrală a analizorului de spectru la frecvența de măsurare aleasă și sincronizând timpul de baleaj cu un semnal provenit de la sursa de înaltă tensiune.

Obiectivul activității de cercetare a specialiștilor de la Universitatea Delft a fost găsirea unei proceduri de evaluare a gravității defectului pentru a planifica acțiunile corective care trebuie întreprinse. În acest scop a fost propusă înființarea unei baze de date a defectelor pentru compararea datelor provenite de la diferite unități de transformatoare. Baza de date ar trebui să conțină cele mai relevante informații despre transformator, inclusiv rezultatele încercărilor de recepție. Cercetătorii olandezi propun continuarea activității prin asocierea rezultatelor măsurării de DP cu cele ale analizei gazelor dizolvate în ulei (DGA) și prin identificarea defectelor prin inspecții interne în scopul obținerii unui catalog de defecte cu amprente în tehnica UIF și DGA.

Laboratorul KEMA din Olanda în colaborare cu Universitatea Bergische din Germania au inițiat o cercetare [30] pentru găsirea tehnicilor de evaluare a stării tehnice a transformatoarelor.

KEMA a dezvoltat un sistem de diagnosticare multiplă pentru a determina: starea OLTC măsurând rezistența dinamică a contactelor și puterea disipată de motor; starea trecerilor izolate măsurând factorul de putere și capacitatea; starea izolației din hârtie, din analiza furanilor și gaze dizolvate în ulei, iar starea întregului dielectric prin măsurarea descărcărilor parțiale.

Măsurarea descărcărilor parțiale a fost efectuată în domeniul UIF cu un analizor de spectru.

Recunoașterea naturii defectului s-a realizat prin compararea înregistrărilor în domeniul UIF cu un receptor în bandă largă cu modele de DP în funcție de fază și timp.

Tehnica de detecție în UIF a fost aleasă pentru măsurarea on-site a DP deoarece are o mare sensibilitate. Pentru evitarea semnalelor de la stațiile TV și de la telefoanele mobile, măsurarea începe cu detectarea spectrului de fond cu un analizor de spectru. Apoi pentru a găsi cea mai bună bandă de frecvență s-a folosit injecția de impulsuri. În interiorul transformatorului a fost implementată o antenă în bandă largă legată la un receptor cu o lățime de bandă de cca 10% din frecvența de detecție, un formator de impulsuri și un amplificator logaritmic (10dB/1V). Impulsurile sunt detectate și memorate în fișiere de date într-un calculator. Formatul fișierelor de date care conțin impulsurile de DP funcție de fază și timp sunt conform cu cerințele CIGRE [31].

Antena de tip spirală este montată pe o bară și este instalată în transformator prin introducerea barei prin supapa de ulei. Pentru instalarea antenei nu este necesară scoaterea transformatorului din funcțiune.

Firma ALTSTOM - Franța a inițiat cercetări pentru evaluarea comportamentului transformatoarelor prin efectuarea de studii pe model [32]. Au fost studiate efectul măsurării DP în UIF și al parametrilor de achiziție a semnalelor asupra sensibilității detectării DP din modelele de izolație hârtie-ulei [33]. Din acest studiu a rezultat că semnătura DP în domeniul UIF este dependentă de lățimea benzii de detecție și de constanta timpului de baleaj.

În studiul întreprins lățimea de bandă a fost 200-1500MHz iar timpul de baleaj a fost de 3s [34].

DP din izolația hârtie-ulei a transformatoarelor pot fi separate în 3 tipuri:

- descărcări în volum deschis de ulei (descărcări de suprafață, descărcări corona);
- descărcări care apar într-o zonă limitată (bulă);

- descărcări de-a lungul interfețelor hârtie-ulei (conturnări).

Pentru a cerceta dacă există o corelare între modelele clasice de DP și cele din domeniul UIF au fost simulate diferite defecte care pot apărea în transformatoarele de putere cum sunt:

- descărcări corona în ulei folosind o configurație vârf-plan;
- conturnări prin crearea unei descărcări de-a lungul interfaței hârtie-ulei paralelă cu câmpul electric;
- descărcări de suprafață folosind o placă de carton între doi electrozi plani;
- descărcări între spire folosind un model de izolație al unui transformator.

Pentru simularea structurii izolante de bază a transformatorului au fost montate concentric trei bariere de carton de grosimi diferite, în jurul fiecăruia din modele. Astfel, modelele au simulat configurația de bază a unui transformator cu multiple bariere de carton și canale de ulei cu grosimi și distanțe diferite. Sursele de descărcare au fost amplasate într-o cuvă de încercare umplută cu ulei de transformator. Descărcările au fost provocate de tensiunea înaltă (20kV, 50Hz) produsă de un transformator de încercare. Au fost înregistrate spectrele de frecvență și aranjamentul impulsurilor funcție de fază cu ajutorul unei antene de UIF în bandă largă și a unui analizor de spectru.

Atunci când nivelul semnalului a fost scăzut, s-a folosit un preamplificator pentru a amplifica semnalul de 24dB.

Pentru înregistrarea clasicelor diagrame DP funcție de faza tensiunii înalte a fost dezvoltat un sistem de măsurare care a permis repetarea ciclu cu ciclu pentru analiza modelelor de DP [35].

În final au fost obținute diagrame de referință pentru identificarea naturii defectelor la aplicarea tehnicii de măsurare a DP prin metoda UIF.

În România nu au fost întreprinse cercetări în domeniul măsurării DP cu tehnică UIF .

5. Concluzii

În urma a numeroase cercetări în domeniul evaluării stării funcționale a izolației transformatoarelor de putere și măsură s-a ajuns la concluzia că măsurarea descărcărilor parțiale aduce cele mai multe informații utile personalului ingineresc pentru a decide care sunt măsurile corective cele mai potrivite pentru asigurarea unei funcționări corecte și sigure a transformatorului.

Dacă în condiții de laborator această măsurare se execută fără probleme ea nu poate fi implementată în condiții on-site fără îmbunătățiri esențiale.

Aceste îmbunătățiri sunt de fapt noi tehnici de măsurare.

Prezentul proiect își propune promovarea pe plan internațional a cercetării autohtone în domeniu. Pentru aceasta se intenționează cuplarea tehnicii și experienței proprii la o tehnologie avansată de culegere a semnalelor deținută de firmele vest-europene pentru a rezulta o tehnică nouă de măsurare a descărcărilor parțiale.

Bibliografie

1. Boisseau,C.,Fortin,T.,Hilario,V., - “Instrument Transformers. Partial Discharges Measurement as a Monitoring Method”. In: ISH 93, publication 61.01.
2. Christophe Moreau, Xavier Charpentier – On-line Partial Discharge Detection System. Application to Paper/Oil Insulation of Instrument Transformers. In ISH 97, Montreal, Quebec, Canada, 25-29 august, pp.327-330.
3. Lortie,R.,Aubin,J.,Vaillancourt,G.,H., - Partial Discharge Detection on Power Transformers using a Multi-Terminal Measurement Method”. In: ISH 97, Montreal, Quebec, Canada, 25-29 august, pp.264-382.
4. Krivda,A., - Automated Recognition of Partial Discharge. In: IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, vol.2, No.5 pp.796-821, october 1995.

5. Ward.,B.,H., - Digital Techniques for Partial Discharge Measurements. In: IEEE Trans. On Power Delivery, vol.7, pp.469-479, 1992.
6. Okamoto,T.,Tanaka,T., - Novel Partial Discharge Measurement Computer – aided Measurement Systems. In: IEEE Trans. On Electrical Insulation, vol.21, pp.1015-1019, 1986.
7. Gassaway,J.,D.,Jacob,P.,B.,Vassiliadis,C.,A.,Reynolds,P.H., - Computer – aided Partial Discharge Measurement and Recognition. In: 8th Int.Symp. on HV Engineering, Braunschweig, Paper 41.03, 1987.
8. Gulski,E.,Kreuger,F.,H., - Computer – aided Recognition of Discharge Patterns. In: IEEE Trans. On Electrical Insulation, vol.27, pp.82-92, 1992.
9. Kreuger,F.,H.,Morshuis,P.,H.,F.,Gulski,E., - Evaluation of Discharge Damage by Fast Transient Detection and Statistical Analysis. In: CIGRÉ, Paris, Paper 15-106, a994.
10. Stone,G.,C.,Sedding,H.,G.,Fujimoto,N.,Braun,J.,M., - Practical Implementation of Ultrawideband Partial Discharge Detectors. In: IEEE Trans. on Electrical Insulation, vol.27, pp.70-81,1992.
11. Hücker,T.,Kranz,H.,G., - New Approach in Partial Discharge Diagnosis and Pattern Recognition. In: IEE Proc. on Science, Measurements and Technology, vol.142, pp.89-94, 1995.
12. Fuhr,J.,Hässig,M.,Fruth,B.,Kaiser,T., - PD-fingerprints of Some High Voltage Apparatus. In: IEEE Int.Symp. on Electrical Insulation, Toronto, pp.129-132, 1990.
13. Fruth,B.,Niemeyer,L., - The Importance of Statistical Characteristics of Partial Discharge Data. In: IEEE Trans. on Electrical Insulation, vol.27, pp.60-69, 1992.
14. Okamoto,T.,Tanaka,T., - Change of Pulse mean ϕ - q Distribution Patterns of Partial Discharge due to Treeing Propagation. In: Electrical Engineering in Japan. Vol.102, pp.18-25, 1982.

15. Hikita,H.,Yamada,K.,Nakamura,A.,Mizutani,T., - Measurements of Partial Discharges by Computer and Analysis of Partial Discharge Distribution by the Monte Carlo Method. In: IEEE Trans., on Electrical Insulation, vol.25, pp.453-468, 1990.
16. Bräunlich,R.,Hässig,M.,Fuhr,J.,Aschwanden,T., - Assessment of Insulation Condition of Large Power Transformers by On-Site Electrical Diagnostic Methods. In: IEEE Int.Symp. on Electrical Insulation, Anaheim, 2-5 april, 2000, Paper 13-2.
17. Aschwanden,Th.,Hässig,M.,Zaengl,W., - Development and Application of New Condition Assessment Method for Power Transformers. In: CIGRÉ Session 1998, Paris, Paper: 12-207.
18. Zaengl,W.S.,Bernasconi,F.,Bachmann,B., - Experience of AC voltage tests with variable frequency using lightweight on-site series resonance device. In: CIGRÉ Session 1982, Paris, Paper 23-07.
19. Popa,D., - PD On-Site Electric Measurement at Large Power Transformers. In: Doble Annual European Colloquium, Lisboa, 1998.
20. Contin,A.,Cavallini,A.,Montanari,C., - Digital Detection and Fuzzy Classification of Partial Discharge Signals. In IEEE Trans. on Dielectrics and Electrical Insulation, vol.9, no.3, June 2002, pp.335-348.
21. Akbari,A.,Werle,P.,Borsi,H.,Gockenbach,E., - High Frequency Transformer Model for Computation of Sectional Winding Transfer Functions used for Partial Discharge Localisation. In: 12th ISH International Symposium on HV Engineering, Bangalore, India, Aug.2001.
22. Tord Bengtsson,Bengt Jonsson – Transformer PD Diagnosis using Acoustic Emission Technique. In: 10th International Symposium on High Voltage Engineering, Montreal Canada, August 25-29, 1997, pp.115-118.
23. P.M.Elefthenon – Partial Discharge XXI: Acoustic Emission-Based PD Source Location in Transformers. In: IEEE El.Insul.Vol.11 no.6 (1995) pp.22.

24. Hemchandra,M.,S., - Detection of Partial Discharge using a Fault Diagnostic Device for Electrical Power Transformers. In: Sixty-Fifth Annual International Conference of Doble Clients, March 29-April 3, 1998, Boston.
25. Marinescu,A.,Georgescu,G.,Filiseanu,V., - Ultrasonic Equipment for Detecting of Partial Discharges at Transformers. In: ISH Dresden, Paper 74.03, August 1991.
26. Markalons,S.,Feser,K. – Acoustic PD measurements of oil/paper – insulated transformers for PD localization. In: International Conference on Advances in Processing, Testing and Application of Dielectric Materials, Wroclaw, Poland, 2004.
27. Raja,K.,Devaux,F.,Lelaidier,S., - Some Fundamental Observations during UHF Partial Discharge Measurement in Transformers. In CIGRE Transformer Colloquium 2003, Merida Yucatan, Mexico.
28. Allan,D., Blackburn,T., Gulski,E. – Service Aged Insulation Guidelines on Managing the Ageing Process”. In CIGRE Working Group D1.11 „Service Agend Materials” (Task Force D1.11.01), june 2003.
29. Agoris,P.,D.,Meijer,S.,Gulski,E.,Smit.,J. – Evaluation of on-line insulation condition assessment techniques for power transformers. In: Conference Proceedings ISEI 2004, Indianapolis, USA, 2004.
30. Rutgers,W.,R., Aardweg, P.,Lapp,A.,Kranz,H.,G. – Transformer PD Measurements: Field experience and automated defect identification. In: XIII Int.Conf. on Gas Discharges and their Applications, Glasgow, September 2000.
31. CIGRE data format for GIS partial discharge software applications. In: Taskforce 15.03.08 of WG 15.03 Convenor: Huecker T. Elektra No.177, 1998, pp.87-93.
32. Raja,K.,Devaux,F. – Recognition of Discharge Sources using UHF PD Signatures. In: IEEE Electrical Insulation Magazine, Vol.18, No.5, September/October 2002, pp.8-14.

33. Raja,K.,Floribert,T. – Source characterization of discharges using UHF PD signatures. In: IEEE Power Engineering Society Winter Meeting, 2002.
34. Judd,M.,D., Pearson,J.,S.,Farish,O.,Breckenridge,T., - Power Transformer monitoring using UHF sensors: Installation and testing. In: Proc.Int.Symp.Elect.Insul.2000,pp.373-376.
35. Moreau,C.,Tantin,P., Manisuy,J., Poittevin,J., Despiney,P. - Monitoring and operation behavior of HV and EHV instrument transformers. In: International Council on Large Electric Systems, paper 12/101,pp10, 1998