

발전기 절연 예방 진단기술

김 용 주

(한국전기연구소 전력기기 연구실장)

차례

- 1. 서론
- 2. 발전기 절연 예방진단 방법
 - 2. 1 일반적인 전기적 진단법
 - 2. 2 부분방전의 특성을 이용한 측정법
 - 2. 3 부분방전의 발생지점 진단법
 - 2. 4 발전기내의 gas products를 이용한 측정법
 - 2. 5 외부 잡음제거 회로
- 3. 전문가 절연 진단 시스템
- 4. 결론

1. 서론

발전기 신뢰도는 발전소 이용율에 가장 큰 영향을 미치는 요소이며 전력회사측으로서는 발전기 고장으로 인한 load shedding과 연쇄적인 동기탈조 현상을 가장 큰 문제로 삼고있다.

최근 외국의 보고서에¹⁾ 의하면 발전기의 고장을 유형별로 분석한 결과 베어링의 마모와 고정자 권선의 절연 파괴는 발전기의 신뢰도를 저하시키는 주된 요인들로 밝혀졌으며 또 다른 보고서에²⁾ 의하면 고정자 권선의 절연파괴는 대부분 부분방전을 수반하고 있다고 하였다.

이러한 이유로 인하여 많은 연구및 실험을 통하여 부분방전 현상과 고정자 권선의 절연상태를 연관시키려 하였으며, 한편으로는 최적 절연진단 방법을 찾기위하여 여러가지 연구가 행하여졌다. 그러나, 발전기 절연파괴는 전기, 기계, 열 및 화학적 요인에 의한 복합적인 현상에 기인하기 때문에 한가지 절연 진단 방법으로는 절연 상태의 정확한 진단이 불가능하다고 보고되었다.³⁾

본 해설에서는 현재 외국에서 사용하고 있는 발전기 고정자 권선의 예방진단 기술 및 앞으로의 연구 추진방향에 대하여 기술하여 국내에서 이 분야를 연구하시는 분들의 관심을 제고하고자 한다.

2. 발전기 절연 예방 진단방법.

2. 1 일반적인 전기적 진단법.

2. 1. 1 흡수 전류 측정법⁴⁾⁵⁾

절연체의 표면상태와 수분 함유량의 척도가 되는 것으로서 분극지수와 절연 저항을 측정한다. 분극지수는 전압 인가후 1분 및 10분에 측정된 전류의 비율을 의미하며 그 비율이 1에 가까울 수록 수분 함유량이 과다함을, 3 이상이 되면 절연체의 건조된 상태를 나타낸다.

이 측정법은 일반적으로 절연물의 열화 진행과정과는 관계가 없는 것으로 알려져 있으나 일본의 경우⁶⁾ 절연 저항은 절연물의 절연 파괴전압과 밀접한 관계가 있다고도 발표되었다.

2. 1. 2 유전 정점 측정법

전력회사에서 가장 많이 사용하고 있는 방법으로 인가전압을 상승 시킴으로써 절연물 내부의 미소 공기층에서 발생하는 부분방전의 증가량을 나타내며 절연물의

절연상태 및 미소 공기층 함유량의 척도를 의미한다.

이 방법은 절연물의 절연상태를 정확히 나타낸다고 할수 없다. 그 이유로는 일반적으로 고정자 권선은 복합 재료로서 구성되어 있기 때문에 이중 절연물 경계면간의 분극현상⁷⁸⁾, 미소 공기층의 기하학적인 구조에 따른 부정확한 측정⁹¹⁰⁾, 절연물 종류의 영향⁴¹⁰¹¹⁾, 절연 파괴전압과의 연관성 결여⁴¹²¹³⁾, 및 인가전압의 고주파 함유분에 따른 영향⁴¹⁴⁾ 등이 문제점으로 제기되어 절연물의 절연상태를 신뢰성있게 측정하지 못한다고 하였다. 그러나, 일본의 경우⁶⁾ 유전정점은 절연물에 있어서 미소 공기층의 총체적 부피 및 유기 절연물의 분해정도를 나타낼 수 있다고 발표되었다.

2. 1. 3 기타 측정법.

인가전압의 상승에 의한 capacitance의 증가분을 측정하는 capacitance tip-up⁶¹⁵⁾ 측정법으로 이 방법을 사용한 것이 유전정점 측정치보다 더욱 정확히 절연물의 상태를 판별할 수 있다고 하였으며, 절연물의 체적에 영향을 받지 않는 절연저항과 capacitance의 곱(RC) 절연파괴 전압과 밀접한 상호 연관성이 있다고 발표되었고, 일본에서는⁶¹⁾ A.I.A를 사용하여 새로운 변수를 찾아냄으로서 유전정점 및 capacitance tip-up 측정법보다 우수한 절연진단 특성을 나타낸다고 하였다. 절연물의 특성을 총체적인 부분방전의 양으로 측정할 수 있는 것으로 Dielectric loss analyzer⁶¹⁹⁾를 이용한 방법이 있으며 이는 인가전압에 의한 전하이동을 loop trace로 나타내는 capacitance bridge 법에 그 근거를 두고있다.

일반적으로 한 사이클당 손실에너지, 부분방전 개시 전압 및 인가전압 상승에 대한 부분방전 특성의 변화등을 측정할 수 있는 이 방법은 특히 고정자 권선의 슬롯방전을 발견하는데 이용될 수 있다고 보고되었다.⁵⁾

지금까지 일반적인 전기적 측정법에 관하여 간단하게 기술하였다. 하지만 상기 기술한 측정법은 총체적인 부분방전의 양과 절연물의 절연상태와 연관되어 Quality control에 적당한 것으로 생각하였을 뿐 절연물의 시간에 따른 열화과정과의 연관성은 고려되지 않았으며, 따라서 열화정도에 따른 부분방전의 발생지점의 파악 및 절연파괴 현상의 형태별 규명은 정확히 실시할 수 없는 단점이 있다.

2. 2 부분방전의 특성을 이용한 진단법

2. 2. 1 부분방전의 크기 측정법

부분방전의 특성중 가장 범용으로 절연물 진단에 사용하고 있는 것으로 부분방전 크기의 최대치가 시간에 따라 감소하나 절연파괴 전에는 그 크기가 급격히 변화한다는 많은 실험결과에¹⁷⁻²⁰⁾ 그 근거를 두고있다. 절연물에 전압을 인가후 초기현상으로 부분방전의 크기가 감소하는 것은 일반적으로 미소 공기층의 표면 전기전도도가 증가하여 생기는 현상으로 알려져 있다.²¹⁾ 부분방전의 크기는 전원주파수 및 인가전압의 크기에 비례하며 미소 공기층이 전극에 가까이 위치하고 있으면 전원극성에 따라 부분방전의 크기가 다르다. 또한 부분방전의 최대치가 열화시간이 경과함에 따라 뚜렷한 전이현상을 나타내는 것을 이용하여 고정자 권선의 수명을 예측할 수도 있다고 생각되었다.²⁰⁾ 수차 발전기의 경우 기계적 스트레스에 의한 슬롯방전현상이 가장 큰 문제점으로 대두되어 왔다.

1980년 캐나다 Ontario Hydro의 통계에 의하면 77대의 발전기중 20대가 기계적 진동에 의한 wedge의 이완으로 발생된 슬롯방전 현상을 이 방법으로 진단하였으며²²⁾ 미국의 American Electric Power는 1980년부터 수년간에 걸친 실험을 통하여 27개의 기력발전기중 1개 그리고 5개의 수차 발전기중 3개가 슬롯방전에 의해 손상을 입은 것을 발전기 중성점을 통한 Radio Frequency의 크기를 측정하여 발견하였다.²³⁾ 최근에는 측정장비의 computer화로 Multichannel Analyzer를 이용한 방법이²⁴⁾ 많이 사용되는 추세이다.

부분방전의 크기는 부하의 변동에 의한 권선온도의 영향이 크며, 발전기 내부의 고정자 권선은 그 위치에 따라 가해지는 전압의 크기가 다르기 때문에 똑같은 정도로 열화된 권선이라 하더라도 발생하는 부분방전의 크기가 다르다. 또한 발전기 권선 내부를 부분방전의 전기적 신호가 진행함에 따라 고주파 성분이 감소되는 현상으로 인하여 부분방전의 크기가 정확한 권선의 열화정도를 나타내 주지는 못한다.

2. 2. 2 부분방전의 위상분포 측정법

전원 전압파형상에서 부분방전의 위상분포를 측정하여 절연물의 열화특성을 판별하는 방법은 많은 실험을 통하여 시도되어 왔다.^{25) 26)} 'mean angle'은¹⁴⁾ 인가전압에 따라 감소한다고 알려져 있으며 또한 부분방전 크기의

'skewness'도²⁷⁾ 절연물의 열화를 판별할 수 있는 중요한 매개변수라고 알려져 있다.

일반적으로 크기가 큰 부분방전은 열화과정의 초기에는 인가전압 파형의 부극성 최대치에서 발생하여 점차로 정극성의 최대치로 진전하며 열화가 더욱 진전됨에 따라 부분방전이 일어나는 위상각은 인가전압 파형의 최대치에서 영점으로 확산된다. 또한 부분방전의 위상 분포는 절연물 두께와 미소 공기층의 체적과 밀접한 관계가 있다고 알려져 있으며, 이에 근거를 두고 발전기 고정자 권선에 있어 전계가 높은 도체 모서리로 부터 절연파괴가 시작되어 channeling을 통한 절연물의 파괴 정도와 잔존수명과의 밀접한 관련성에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.²⁷⁾

2. 2. 3 부분방전의 time interval 측정법.

부분방전간의 시간간격을 측정하여 절연물의 열화정도를 판별할 수 있는 매개변수를 찾기위해 많은 연구실험들이 행하여 졌으나 현재까지는 뚜렷한 결론이 없는 상태이다.

2. 2. 4 부분방전의 횡수 측정법

단위 시간당 부분방전의 횡수도 역시 절연물의 예방진단에 중요한 매개변수로서 연구의 대상이 되어 왔다. 많은 연구실험을 통한 공통적인 결론에²⁰⁽²⁵⁾ 의하면 절연특성이 양호하게 제작된 절연물의 열화과정 초기에는 부분방전횡수는 감소하는 추세를 보이다가 절연파괴 전에 갑자기 그 횡수가 증가한다고 하였다. 하지만 절연특성이 불량하게 제작된 절연물의 열화과정은 초기부터 절연파괴까지 급속히 그 횡수가 증가하는 경향을 나타낸다. 또한 역설적인 실험 결과로서 열화과정 초기에 부분방전 횡수가 많고 또한 절연물 내부에 미소 공기층에 의한 도체 모서리의 전계 완화현상에 의해 열화진행 속도가 저하되어 절연물의 수명이 연장될수 있다고도 하였다.²⁷⁾ 하지만 부분방전의 횡수에 의한 발전기 고정자 권선의 예방진단은 부분방전이 일어나는 부위의 수와 그 면적에 따라 비례하므로 신뢰성있는 결과를 예측하기 어렵다.

2. 3 부분방전의 발생지점 진단법

2. 3. 1 off-line 측정법²⁸⁽²⁹⁾

발전기 고정자 권선에 있어서 부분방전의 발생지점을 측정하는 방법으로는 electromagnetic probe 법과 sonic

probe 법이 있다. electromagnetic probe 법은 half toroid 형태의 철심을 고정자 권선에 부착시켜 특정 주파수의 신호를 RIV 미터로 측정하며 sonic probe 법은 절연유가 들어있는 관을 고정자 권선에 부착시켜 acoustic coupling 을 통해 특정 주파수의 신호를 측정하는 방법이다. 발전기 rotor를 제거하지 않고 rod 형태의 소형 probe를 사용하는 법과 rotor를 제거후 half toroid 형태의 probe를 사용하는 두가지 방법이 있는데 이들 probe를 사용하여 고정자 권선의 부분방전 발생지점을 용이하게 발견할 수 있었다. 하지만 mica asphalt를 사용한 고정자 권선의 경우 권선의 절연 파괴전압과 측정된 부분방전의 크기는 반비례하는 결과를 나타내기도 하기 때문에 앞으로 절연물의 종류에 따른 연구실험이 요망된다.

2. 3. 2 on-line 측정법

발전기 내부에 있는 고정자 권선을 부분방전 신호가 진행할 때 주파수에 따른 감쇠현상을 이용하여 부분방전 발생지점을 발견하는 방법으로 아직까지는 실용화되고 있지 않으나 꾸준히 연구가 진행되어 오고 있는 분야이다.

주파수 범위가 20-300 KHz 대역에서는 1/2-1/3 정도의 신호감쇠를 나타내는데 비하여 1 MHz이상의 주파수에서는 1/50 정도의 신호감쇠를 나타낸다.³⁰⁾ 일반적으로 6.6kW급 고정자 권선에 있어서는 직렬 인덕턴스는 1.3μH/m 이며 turn간 capacitance는 32pF/m를 나타낸다. 하지만 이들 수치는 발전기의 정격, 구조 및 절연물의 종류에 따라 많은 차이가 있어 이에 따른 부분방전 신호의 감쇠특성도 다르다. 그러므로, 발전기의 구조에 따른 부분방전 신호의 주파수에 따른 감쇠현상에 대한 연구가 요망된다.

2. 4 발전기내의 gas products 를 이용한 측정법

고정자 권선에서 발생하는 부분방전과 발전기의 이상 운전상태로 인한 발전기 권선의 과열상태는 열 경화성 합성수지를 사용한 절연물에 조차 절연성능의 저하 상태를 초래한다. 이러한 과열상태는 기력발전기에 있어서 수소중 절연물의 열 분해에 의한 열 전자 방출을 측정할 수 있는 core monitor라고 불리는 기기에 의하여 발견이 된다.

하지만 발전기 내부의 oil mist, 가스 입력의 저하등

으로 인한 core monitor의 오동작이 문제가 되어 heated ion chamber monitor에 의하여 제반 문제등이 해결 되었으며³¹⁾ 열이 발생하는 지점을 발견하기 위하여 tagging compound를 선택된 발전기 내부에 취부하므로써 발전기 고장자 권선의 예방진단법으로서 실용화 되고 있다. 하지만 이 방법은 부분방전의 전기적 신호에 의한 예방진단법에서 발견할 수 있는 경미한 예방진단법에서 발견할 수 있는 경미한 절연열화상태를 발견할 수 없으며 절연물의 열화정도가 상당히 심화된 후에서야 비로소 활용될 수 있는 단점이 있다.

2.5 외부잡음 제거회로

발전기로부터 피측정된 전기적 외부잡음으로 인하여 부분방전의 측정 및 분석결과가 잘못 판단될 수 있다. 이들 전기적 외부잡음은 static exiter pulse, arcing brushgear, 다른 전력기기에서 발생하는 부분방전 및 방송국의 무선주파에 의한 것들이 대부분이다. 이 외부의 전기적 잡음을 제거하기 위하여 고안된 것 중에는 발전기의 ring bus 끝 부분에 loop-cable 형식의 coupling capacitor를 부착하여²⁹⁾ differential amplifier를 통한 외부잡음을 제거하는 방법이 있으며 다른 한편으로는 부분방전 신호의 극성을 외부잡음 신호의 극성과 비교하여³²⁾ 외부잡음 및 부분방전을 각각 측정할 수 있으며 또한 외부잡음이 포함된 부분방전도 측정이 가능한 방법이 있다. 그러나 극성 비교 방법은 발전기 중성점 및 coupling capacitor에 detector를 연결하여야 측정이 가능한 단점이 있다.

3. 전문가 절연진단 시스템

발전소 현장 및 실험실에서의 경험적 자료와 잘 알려진 이론 및 현상등을 근거로 하여 발전기 고장자 권선에 대한 전문가 진단 시스템을 개발하여 숙련되지 않은 발전기 운전자라도 측정된 자료에 대한 분석 및 판단을 용이하게 실시할 수 있도록 하는 방법이 꾸준히 연구되어 왔다. 이 전문가 진단시스템은 측정된 자료를 분석하여 발전기 고장자 권선의 수명예측, 부분방전 형태의 구분, 부분방전 지점 발견 및 운전자에 대한 운전 및 보수 계획 지침등의 정보를 판단할 수 있도록 되어있다. 전문가 진단시스템은 일반적으로 다음과 같이 여섯가지 부

분으로 구성되어 있다. Knowledge base는 잘 알려진 이론 및 현상과 실험적 경험을 축적하며, data decomposition mechanism은 측정된 자료로부터 유용한 매개변수를 찾도록 하고 이 매개변수들은 aging history base에 저장되어 추후의 분석에 사용되며 위의 세가지 기능을 모두 조정하는 inference mechanism은 논리적 법칙에 의한 결과 분석 algorithm이다. 이 분석 결과를 발전기 운전자가 쉽게 이해할 수 있도록 explanation of physical phenomena 기능과 interpretation 기능이 있다. 이렇듯 전문가 진단 시스템을 활용함으로써 발전기 운전자의 판단 잘못을 방지할 수 있으며, 여러가지 복합된 자료의 분석 및 종합적 판단이 가능하기 때문에 절연진단의 신뢰성 및 신속성을 기할 수 있다.

4. 결 론

현재 산업체의 공장 자동화 및 컴퓨터화에 따라 전력공급의 높은 신뢰도가 절실히 요구되는 사회적 환경을 충족시키기 위하여 전력공급의 가장 핵심기체인 발전기의 경제적 유지 및 보수가 문제시 되고 있다. 이에따라 신뢰성 및 경제성이 고려된 발전기의 절연 예방 진단기술은 필수적이며, 지금까지 기술된 바와 같이 연구 개발된 예방 진단기술은 각각 그 측정 및 분석방법에 있어서 절연진단의 적용 범위에 따라 장점과 단점이 있다. 그러므로 한가지 방법에 의한 절연 예방진단보다는 각각의 장점을 고려한 측정 및 분석방법을 종합적으로 적용하여 신뢰성을 높이는 연구가 꾸준히 추진되어야 하며 앞으로 중점적으로 추진되어야 할 또 다른 과제들은 기력발전기의 절연 예방진단, 수명예측, 운전중 열화권선의 위치탐지 및 권선 열화형태의 구분에 관한 연구이다.

참 고 문 헌

- 1) Albrecht P.F. et al., "Assessment of the reliability of motors in utility applications.", Report No. 83-CRD057, General Electric, 1983.
- 2) Evans D.L., "IEEE Working Group Report of Problems with Hydrogenerator Thermoset Stator Windings -Part I." IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-100, No. 7, pp. 3284-3291, July 1981.

- 3) Working Group 07 of Study Committee No. 11 (Rotating Machines), "Evaluation of the Quality of the Insulation of High Voltage Large Rotating Machines", ELECTRA International Conference on Large High Voltage Electric Systems, pp. 51-64, May 1980.
- 4) Wichmann A., "AC and DC Methods for the Evaluation and Maintenance Testing of High-Voltage Insulation in Electric Machines.", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-82, pp. 272-282, June 1963.
- 5) Simons J.S., "Diagnostic Testing of High Voltage Machine Insulation : A Review of Ten Years' Experience in the Field.", IEE Proc., Vol. 127, Pt. B, No. 3, pp. 139-154, May 1980.
- 6) IEEJ Technical Report, "Insulation Diagnosis Test Method-for Rotating Machines and Power Cables of 3.3 kV and 6.6 kV Rating.", The Institute of Electrical Engineers of Japan, The Investigation Committee of Solid Insulation Diagnosis, March 1984.
- 7) Goffaux R., "On the Nature of Dielectric Loss in High-Voltage Insulation.", IEEE Transactions on Electrical Insulation, Vol. EI-13, No. 1, pp. 1-8 February 1978.
- 8) Orbeck T., "Discussion of Practical Value of Internal Partial Discharge Measurements on High-Voltage Insulation Systems for Rotating Machines.", IEEE Transactions on Electrical Insulation, Vol. EI-8, No. 3, pp. 98-107, September 1973.
- 9) Kind D. and Konig D., "AC Breakdown of Epoxy Resins by Partial Discharges in Voids.", IEEE Transactions on Electrical Insulation, Vol. EI-3, No. 2, pp. 40-46, May 1968.
- 10) Johnston D.R. and Gjaja N.V., "Hazards of Interpretation of Dissipation-Factor Tip-Up Determinations.", IEEE Transactions Electrical Insulation, Vol. EI-13, No. 1, pp. 9-13, February 1978.
- 11) Mitsui H., Yoshida K., Inoue Y. and Kawahara K., "Mechanical Degradation of High Voltage Rotating Machine Insulation.", IEEE Transactions on Electrical Insulation, Vol. EI-16, No. 4, pp. 351-359, August 1981.
- 12) Tsukui T., Kaneko K. and Isobe S., "Aging Properties of Mica Insulation Systems Impregnated with Solventless Resin for Generator Stator Coils.", IEEE Transactions on Electrical Insulation, Vol. EI-8, pp. 50-55, June 1973.
- 13) Tsukui T., Takamura M., and Kako Y., "Correlations between Nondestructive and Destructive Tests on High-Voltage Coil Insulations for Rotating Machines." IEEE Transactions on Electrical Insulation, Vol. EI-15, No. 2, pp. 118-127, April 1980.
- 14) Kelen A., "Critical Examination of the Dissipation Factor Tip-Up as a Measure of Partial Discharge Intensity.", IEEE Transactions Electrical Insulation, Vol. EI-13, No. 1, pp. 14-24, February 1978.
- 15) Dakin T.W. and Malinaric P.J., "A Capacitance Bridge Method for Measuring Integrated Corona-Charge Transfer and Power Loss per Cycle.", AIEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. 79, pp. 648-653, October 1960.
- 16) Terasse H., and et al., "A New AC Current Testing Method for Non-Destructive Insulation Tests.", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-99, No. 4, pp. 1557-1566, July / - Aug. 1980.
- 17) Okamoto T. and Tanaka T., "Change of Pulse-Mean φ -q Distribution Patterns of Partial Discharges due to Treeing Propagation.", Electrical Engineering in Japan, Vol. 102, No. 6, pp. 18-25, 1982.
- 18) Kitamura Y. and Hirabayashi S., "Change of Internal Partial Discharge on Epoxy Resin during Voltage Endurance Test.", Electrical Engineering in Japan, Vol. 103, No. 5, pp. 1-7, 1983.
- 19) Dakin T.W. and Studniarz S.A., "Voltage Endurance of Epoxy Resins with Microcavity Type Defects.", Conference Record of the 1976 IEEE International Symposium on Electrical Insulation, pp. 291-295, 1976.
- 20) Laurent C., Mayoux C. and Sergent A., "Electrical Breakdown Due to Discharges in Different Types

- of Insulation.", IEEE Transactions on Electrical Insulation, Vol. EI-16, No. 1, pp. 52-58, February 1981.
- 21) Tanaka T. and Ikeda Y., "Internal Discharges in Polyethylene with an Artificial Cavity." • IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-90, pp. 2692-2702, 1971.
 - 22) Kurtz M. and Lyles J.F., "Generator Insulation Diagnostic Testing.", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-98, No. 5, pp. 1596-1603, Sept / Oct 1979.
 - 23) Timperley J.E., "Incipient Fault Identification through Neutral RF Monitoring of Large Rotating Machines.", IEEE Transactions on power Apparatus and Systems, Vol. PAS-102, No. 3, pp. 693-698, March 1983.
 - 24) Bartnikas R. and McMahon E.J., "Corona Measurement and Interpretation", ASTM Special Technical Publication, 669, 1979
 - 25) Henriksen M. and et al., "A New Method for Testing Organic Materials' Resistance to Partial Discharges.", Conference Record of 1984 IEEE International Symposium on Electrical Insulation, pp. 323-326, June 1984.
 - 26) Okamoto T. and Tanaka T., "Partial Discharge Characteristics in Phase Domain for Various Cylindrical Voids.", Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, pp. 498-503, 1985.
 - 27) Kim Y.J., "Partial Discharge Spectroscopy for Insulation Diagnosis.", Pb. D Thesis, Rensselaer Polytechnic Institute, Oct. 1987.
 - 28) Harrold R.T., Fort E.M. and Goodwin T.A., "The Interpretations of Corona and Dielectric Measurements on the Mica-Asphalt Insulation of a 30 Year-Old Waterwheel Generator at Grand Coulee Dam.", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-92, No. 6, pp. 1935-1944, Nov / Dec 1973.
 - 29) Dakin T.W., Works C.N. and Johnson J.S., "Electromagnetic Probe for Detecting and Locating Discharges in Large Rotating Machine Stators.", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-88, No. 3, 251-257, 1969.
 - 30) Wilson A., Jackson R.J. and Wang N., "Discharge Detection Techniques for Stator Winding.", IEE Proc., Vol. 132, Pt. B, No. 5, pp. 234-244, 1985.
 - 31) Carson C.C., Barton S.C. and Gill R.S., "The Occurrence and Control of Interference from Oil Mist in the Detection of Overheating in a Generator.", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-97, No. 5, pp. 1509-1514, 1978.
 - 32) Black I.A. and Leung N.K., "The Application of the Pulse Discrimination System to the Measurement of Partial Discharges in Insulation under Condition.", Conference Record of 1980 IEEE International Symposium on Electrical Insulation, pp. 167-170, 1980.