

GITr(Gas Insulated Transformer)내부에 발생하는 PD 신호의 패턴분석을 위한 PRPD와 CAPD 적용결과 비교

論 文

55C-6-5

A Comparative Study of The PD Pattern Analysis Based on PRPD and CAPD for The Diagnosis of Gas Insulated Transformer

鄭承庸[†]·具茲允^{*}

(Seung-yong Jung · Ja-yoon Koo)

Abstract - Partial Discharge (PD) phenomena occurred by different nature of insulating defects has been regarded as a random process by which Phase Resolved Partial Discharge Analysis(PRPSDA) has been proposed and then commercially accepted for the diagnosis of the power apparatus since more than three decades. Moreover, for the same purpose, a novel approach based on the Chaotic Analysis(CAPD) has been proposed since 2000, in which Partial Discharge(PD) phenomena is suggested to be considered as a deterministic dynamical process.

In this work, for the diagnosis of Gas Insulated Transformer(GITr), four different types of specimen were fabricated as a model of the possible defects that might possibly cause its sudden failures such as turn to turn insulation, inter coil insulation, free moving particle and protrusion. For this purpose, these defects are introduced into the Gas Insulated Transformer(GITr) mock-up and experimental investigations have been carried out in order to analyze the related Partial Discharge(PD) patterns by means of both Phase Resolved Partial Discharge Analysis(PRPSDA) and Chaotic Analysis(CAPD) respectively and then their comparisons are made systematically.

Key Words : Phase Resolved Partial Discharge Analysis(PRPSDA), Chaotic Analysis Partial Discharge(CAPD), Gas Insulated Transformer(GITr).

1. 서 론

도시지역을 중심으로 지속적으로 증가하는 전력수요를 공급하기 위하여 배전 손실을 줄이고 공급신뢰성을 향상시키기 위하여 도심에 옥내 지중변전소를 건설이 증가되고 있다. 또한 오일 변압기 사고 발생에 의한 환경 피해를 축소하고자 가스절연 변압기(GITr)로 기존의 설비를 대체하는 기술적 변화를 맞이하고 있다. 이러한 시장의 변화에 부응하기 위하여 GITr의 내부 결함에 의한 사고를 예방하기 위하여 형성 가능한 결함들의 판별이 요구되고 있으나 절연 진단 분석 결과가 보고 된 바는 아직 없다. 따라서 그 방안의 하나로서 대 전력 기기들의 절연열화 진단에 주로 적용되는 부분방전을 검출하여 분석하는 기법을 GITr에 적용하였다.

부분방전 패턴 분석을 위하여, 통계적 데이터 처리에 기초를 둔 규격화된 알고리즘을 이용한 위상분해 PD분석법(PRPSDA)이 기존에 널리 적용되고 있다. 이 방법은, PD펄스가 발생되면 인가전압의 위상구간을 일정한 수로 나누어 각 구간에서 발생된 PD를 모두 중첩시켜서 방전의 크기, 위

상, 그리고 펄스 수들이 주요한 측정 파라미터로 고려되고 있으며 이러한 파라미터들의 값을 구하기 위한 알고리즘이 다양하게 개발되고 있다[1-3]. 그러나 전력기기 내부에서 발생하는 PD의 발생원인을 명확히 구별하기에는 미흡한 점이 지적되고 있다[4].

따라서 본 연구를 통하여 연구팀이 최초로 제안한 카오스 분석(CAPD)에 기초를 둔 새로운 방법을 GITr의 주요한 결함분석에 적용하여 그 결과를 기존방법으로 얻어진 결과들과 상호 비교하여 제안된 기법들의 적합성 여부를 판단하고자 한다[5-6]. 각 결함들의 부분방전 패턴분류는 분석방법에 따라 패턴 분석이 가능한 결함과 불가능한 결함들을 분류할 수 있었다.

2. 본 론

2.1 PD 신호의 검출

PD 신호를 검출하기 위한 실험 작업에서, 감시장에는 그림 1처럼 UHF coupler를 tank에 설치할 하였다. UHF coupler는 3개를 설치하였으며, 각 UHF Coupler 위치는 GITr mock-up에 보이고 있다. 결함으로는 4가지의 인위적인 결함을 사용하였으며, 각 결함은 절연물로 5kgf/cm²의 SF6 Gas를 Test cell에 적용하였다.

그림 2은 Inter-coil insulation, Turn to turn insulation, Free moving particle, Protrusion 결함들을 보이고 있다. 권선 결함은 절연지로 Nomex aramid 지를 사용하였고, 권선의 폭은 10.3mm이고 두께는 1.2mm를 사용하였다. Free

[†] 교신저자, 正會員 : 漢陽大 工大 電子電氣制御計測科 博士課程

E-mail : pjsyn1@ihanyang.ac.kr

^{*} 正會員 : 漢陽大 工大 電子電氣制御計測科 正教授
接受日字 : 2006年 1月 23日
最終完了 : 2006年 4月 11日

moving particle은 ball을 사용하였으며 직경은 1mm를 사용하였고 Protrusion은 OKURA needle($r=100\mu m$)을 사용하였다. 각 결함의 인가전압은 inter-coil insulation : 21kV, turn to turn insulation : 17.5kV, free moving particle와 protrusion : 8kV를 인가하였다.

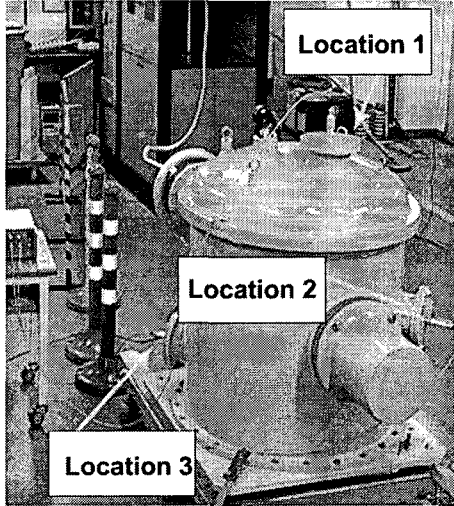
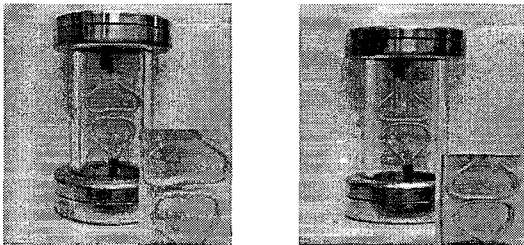
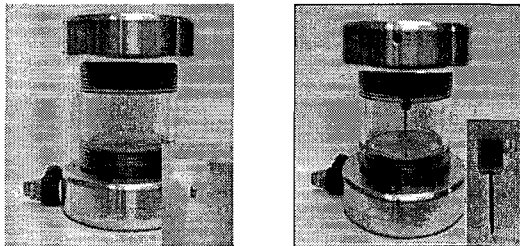


그림 1 170kV GITr Mock-up
Fig. 1 170kV GITr Mock-up



(a) Inter-coil insulation (b) Turn to turn insulation



(c) Free moving particle (d) Protrusion

그림 2 GITr 내부 결함
Fig. 2 Defects of inside GITr

2.2 결함들의 PD pattern

PD 신호를 검출하기 위한 주파수 범위는 0.3GHz~3GHz를 사용하였다. 계측장비로는 그림 3에 보이는 것처럼 오실로 스크อป(LC574AL, bandwidth 1GHz, 2Gs/sec)를 사용하였다. PRPD pattern은 PD의 intensity와 statistical

indicators인 Q_{max} , Q_{sum} , Q_{avr} , #pulse count를 사용하여 표시하였다. CAPD pattern은 세 개의 파라미터를 정규화(normalize)한 NDQs (Normalize - Differenced Quantities)를 사용하였다. 세 개의 NDQs는 정규화한 연속적인 PD펄스 크기의 차이(P_i), 서로 다른 두 개의 PD가 발생했을 때의 인가 전압 차이의 정규화 량(V_i) 그리고 정규화된 두 펄스 사이의 발생시간 차이(T_i)이다. P_i , V_i 및 T_i 는 카오스분석에 기초적인 파라미터로 사용되며, 발생하는 PD 펄스 사이의 상관관계는 이를 바탕으로 규명될 수 있다.

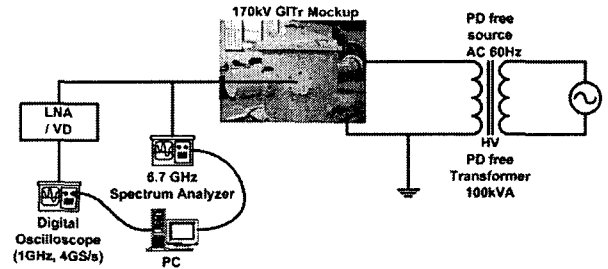


그림 3 실험 장치 구성도
Fig. 3 Block diagram of experimental set up

2.2.1 PRPDA Results

(i) Inter-coil insulation

그림 4에 의하면, PD intensity 그래프와 Statistical indicator는 1/4주기와 3/4주기에서 발생하였으며 비슷한 PD 발생량을 보였다. 그림 4 (a)의 Intensity 그래프는 변압기 권선에 Nomax aramid 절연지 4겹을 절연한 각 절연지와 권선 사이에서 Void 방전과 Surface 방전 형상을 보였다. Q_{max} , Q_{sum} , Q_{avr} , #pulse의 경우 정극성과 부극성의 분포 상관관계수 값인 CC값이 0에 가까운 값을 보였으며 이는 정극성과 부극성이 방전 분포 형태가 다름을 보이고 있다.

(ii) Turn to turn insulation

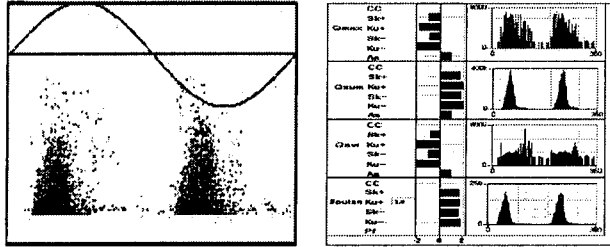
그림 5에서 PD intensity 그래프와 Statistical indicator는 1/4주기와 3/4주기에서 발생하였다. Inter-coil insulation 에서와 비슷한 형상을 보였으며, 절연 간격의 차이 때문에 방전 크기가 Statistical indicator에서 Q_{max} 와 Q_{avr} 는 비슷한 값을 보였으며 Q_{sum} 과 #pulse count는 인가전압의 정극성 부분에서 큰 값을 보였다.

(iii) Free moving particle

그림 6에서 PD 펄스는 둥근 형태의 모양이 전 위상에서 보이고 있으며 Statistical indicator는 정극성과 부극성에서 비슷한 양을 보이고 있다. 모든 통계치에서 정/부극성의 분포 상관관계수를 나타내는 CC값이 0의 비슷한 값을 보여주고 있으며 이는 정극성과 부극성 방전 분포 형태가 다름을 보여 준다. 각 위상에서 방전 펄스의 수는 적었으며 전위상에서 고른 방전 펄스 수를 보여 주었다. 또한 각 위상에서 방전 크기가 다른 결함들과 비교하여 매우 큰 값을 보여 주었다.

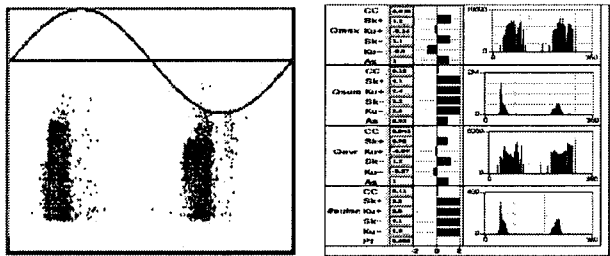
(iv) Protrusion

그림 7에서 PD 펄스들은 부극성에서 정극성보다 큰 intensity를 보였으며 Statistical indicator는 정극성과 부극성에서 비슷한 값을 보였다. 정/부극성의 분포 상관도 경우



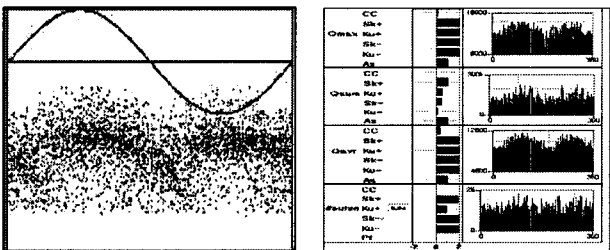
(a) Intensity of PD (b) Statistical indicators

그림 4 Inter-coil insulation
Fig. 4 Inter-coil insulation



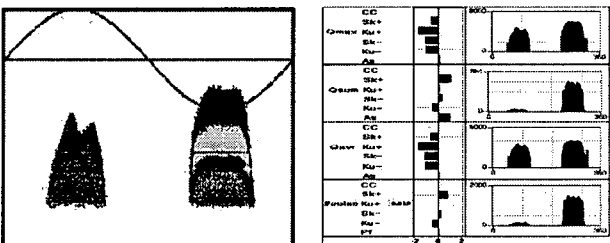
(a) Intensity of PD (b) Statistical indicators

그림 5 Turn to turn insulation
Fig. 5 Turn to turn insulation



(a) Intensity of PD (b) Statistical indicators

그림 6 Free moving particle
Fig. 6 Free moving particle



(a) Intensity of PD (b) Statistical indicators

그림 7 Protrusion
Fig. 7 Protrusion

는 CC값이 0에 비슷한 값을 보여주고 있다. Qsum과 #pulse의 경우 분포의 치우침 정도를 나타내는 왜도는 정극성에서 우측으로 치우침을 보였다. 분포의 첨예한 정도를 나타내는 첨예도는 부극성에서 -값을 보여 분포의 사각형 형태를 보이고 있다.

2.2.2 CAPD Results

(i) Inter-coil insulation

그림 8에 의하면, 카오스 해석의 경우 어느 한계적 기하학적 구조로 수렴하게 되는 끌개를 갖게 되는데 Inter-coil insulation 결함의 경우 3가지 정규화된 파라메타 중에 정규화한 연속적인 PD펄스 크기의 차이 P_i 가 4가지 결함을 패턴 분류할 수 있는 파라메타로 볼 수 있으며 다른 결함들과 비교하여 P_i 의 끌개의 형태가 확연히 다른 것을 보여주고 있다.

(ii) Turn to turn insulation

그림 9에서 Turn to turn insulation의 경우 $P_i - V_i - T_i$, T_i , V_i 의 3가지 정규화한 파라메타의 끌개를 보면 Inter-coil Insulation 결함과 비슷한 결과를 보이고 있다. 두 결함은 시계열 분석법으로는 방전 발생 패턴이 비슷하게 보이고 있으며, P_i 끌개의 형태가 다른 결함들과 다른 형태를 보이므로 Turn to turn insulation 결함은 PD들의 발생 시간차가 패턴 분석에 사용됨을 알 수 있다.

(iii) Free moving particle

그림 10에서는 $P_i - V_i - T_i$, T_i , P_i 의 정규화 파라메타 끌개는 다른 결함들과 비교하여 다른 결함들과 확연히 다른 결과를 보이고 있다. 정규화된 두 펄스 사이의 발생 시간 차이 T_i 끌개는 일정 형태를 갖으며 확산 되는 형상을 보였다. 정규화한 연속적인 PD펄스 크기의 차이 P_i 끌개는 위상공간의 중앙에 집중되어 있다. 특히 P_i 의 경우는 패턴 분석을 할 수 있는 파라메타로 사용할 수 있다.

(iv) Protrusion

그림 11에서 V_i , P_i 파라메타 끌개는 다른 결함들과 구별되는 형상을 보였으며, 서로 다른 두 개의 PD가 발생했을 때의 인가전압 차이의 정규화 량 V_i 끌개는 위상공간 중앙에서 일정 형태를 갖는 원통형 형태를 갖으며 패턴을 분류할 수 있는 파라메타로 볼 수 있다. P_i 는 다른 결함들과 비교하여 위상공간의 중앙에서부터 각 모서리까지 일직선을 보이고 있다. V_i 는 GITr에서 볼 수 있는 Protrusion의 대표적인 예로 볼 수 있다. 또한 PD 패턴 인식에 있어 결함 원을 검출하는데 매우 유용하게 사용될 수 있다.

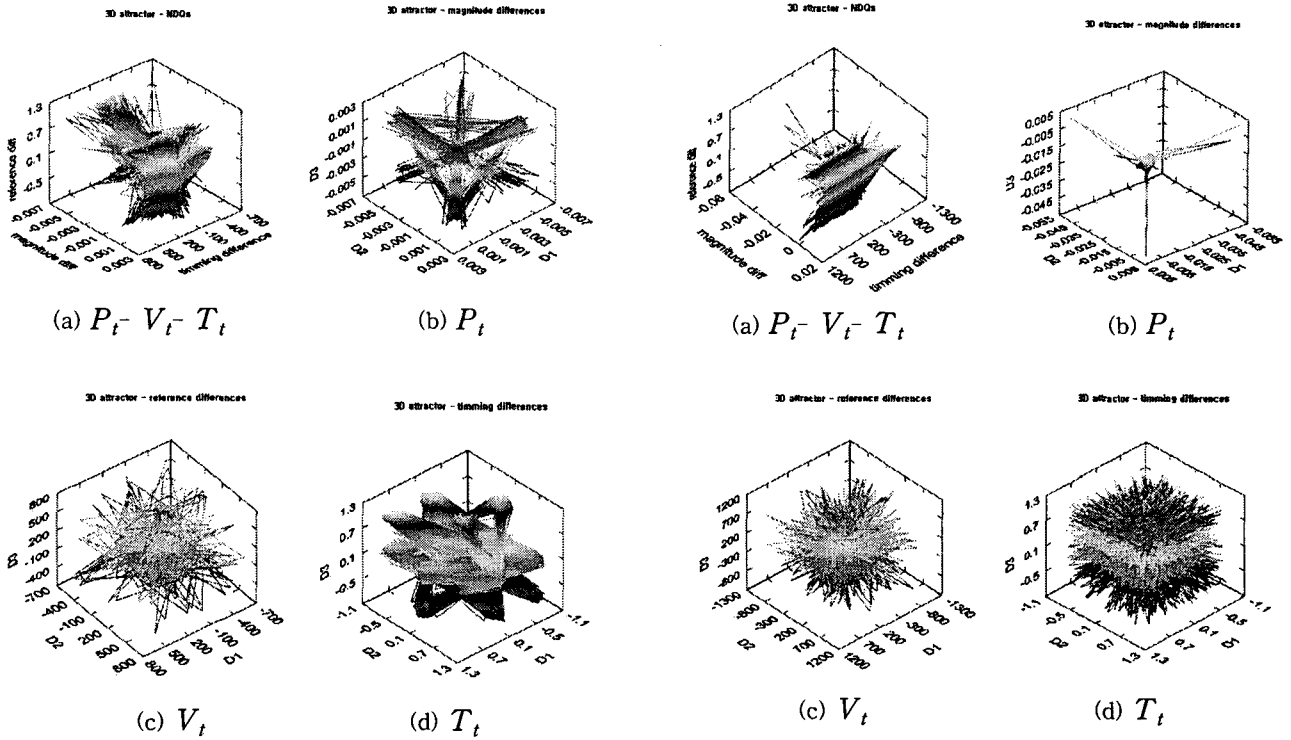


그림 8 Inter-coil insulation NDQs
Fig. 8 NDQs of Inter-coil insulation

그림 10 Free moving particle NDQs
Fig. 10 NDQs of Free moving particle

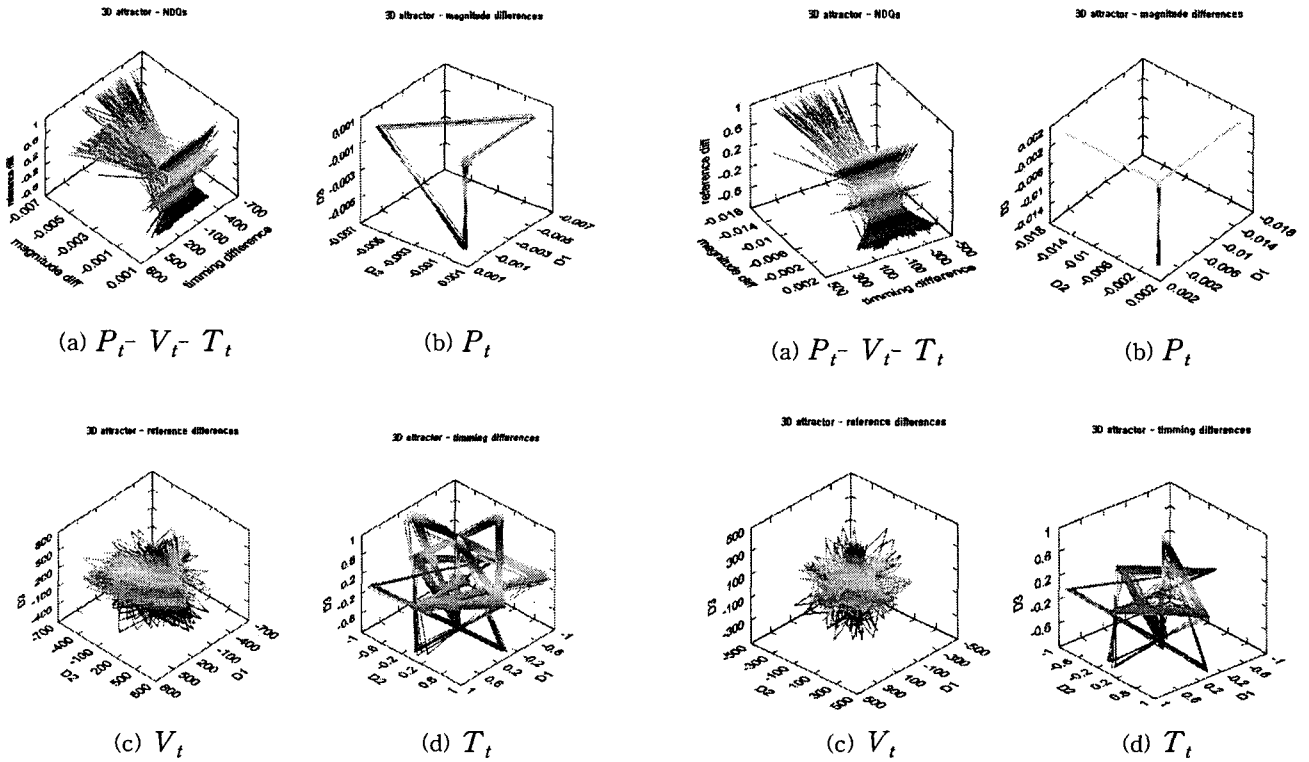


그림 9 Turn to turn insulation NDQs
Fig. 9 NDQs of Turn to turn insulation

그림 11 Protrusion NDQs
Fig. 11 NDQs of Protrusion

3. 결 론

본 연구를 통하여 GITr 내부에서 발생 가능한 주요한 결함들의 부분방전 패턴을 PRPDA와 CAPD 분석 방법으로 대표적인 결과를 보였으며 CAPD 분석 파라메타인 NDQs인 P_t , V_t , T_t 은 PD 패턴 분류를 위한 입력 파라메타로 사용 가능하였으며 CAPD와 PRPDA를 종합하여 분석하므로 얻어진 결과의 신뢰성을 높일 수 있음이 증명되었다.

- PRPD 분석법과 CAPD 분석법을 이용한 GITr 내부 결함에서 발생하는 초고주파를 이용한 대표적인 결과를 보였다.
- 4개의 결함 중 Inter-coil insulation 결함과 Turn to turn insulation 결함을 구별 할 수 있는 패턴이 Intensity graph의 경우 확연히 들어 나지 않으나 statistical graph는 패턴 분류로 고려될 수 있었다.
- CAPD 분석법은 결함 패턴분류가 가능하였으며 NDQs 중에 P_t 와 V_t 는 각 결함을 분류할 수 있는 유용한 파라메타 고려 될 수 있었다.
- GITr에서 PD 현상은 CAPD의 3차원 끝개를 통해 무작위성 속에 규칙성이 있으며 이는 결정론적인 과정으로 볼 수 있다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부 전력산업연구 개발사업(R-2006-000-0000-2292) 및 퓨전전기기술 응용연구센터에 의하여 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사 드립니다.

참 고 문 헌

[1] Edward Gluski, Computer-Aided Recognition of Partial Discharges Using Statistical Tools, Delft University Press, Delft, Netherlands, 1991.
 [2] Okamoto, T., Tanaka T., "Novel Partial Discharge Measurement Computer-aided Measurement Systems", IEEE Trans. on Electrical Insulation, Vol. 21, pp. 1015-1019, 1986
 [3] Andrej KRIVDA, Recognition of Discharges-Discrimination and Classification, Delft University Press, Delft, Netherlands, 1995.

[4] M. Hoof and R. Patsch, "Pulse Sequence Analysis : A New Method for Investigating the Physics of PD-induced Ageing", IEE Proc-Sci. Meas. Technol., Vol. 142, No. 1, pp. 95-101, 1995
 [5] J. Y. Koo, Y. S. Lim, W. J. Kang, and Y. M. Chang, "A Possible Application of the PD Detection Technique using electro-optic Pockels Cell with nonlinear characteristic analysis on the PD signals", IEEE-CEIDP 2000, pp.531-534, 2000.
 [6] Y.S.Lim , J.Y.Koo , "Comparative Analysis of Partial Discharge Pattern from Different Artificial Defects by Means of Conventional Phase-Resolved Partial Discharge Analysis and a Novel Chaotic Analysis of Partial Discharge", Journal of the Korean Physical Society, Vol.42, No6, pp 755-764 June 2003

저 자 소 개



정 승 용(鄭承庸)

1975년 03월 21일생. 2001년 영동대 전자공학과 졸업. 2003년 한양대 공대 대학원 전자전기제어계측공과 졸업(석사) 현재 한양대 공대 전자전기제어계측공과 박사과정
 Tel : 031-400-4041
 Fax : 031-417-0533
 E-mail : pjsyn1@ihanyang.ac.kr



구 자 윤(具茲允)

1951년 2월 7일생. 1975년 서울대 공대 전기공학과 졸업(학사). 1980년 프랑스 ENSEET 졸업(석사). 1980년~1984년 프랑스 ENSIEG 졸업(공학박사). 현재 한양대 공대 전자컴퓨터공학부 교수. 한양대 퓨전전기기술응용연구센터(EFT) 소장
 Tel : 031-400-5163
 Fax : 031-407-9873
 E-mail : koojy@hanyang.ac.kr