

부분방전 분석장치의 설계 및 제작

송재용, 문승보, 차명수, 길경석
한국해양대학교 전기전자공학부

Design and Fabrication of a Partial Discharge Analyzer

Jae-yong Song, Seung-bo Moon, Myung-soo Cha, Gyung-suk Kil
Division of Electrical and Electronics Engineering, Korea Maritime University

Abstract - This paper describes the design and fabrication of a partial discharge(PD) analyzer to evaluate insulation performance for low-voltage electrical and electronic devices. The analyzer consists of an adjustable AC power supply, a coupling network, an amplifier, a shielding enclosure, a sample-hold(S/H) circuit and a data acquisition(DAQ) board.

The analyzer holds the height of PD pulse for 10 μ s by the S/H circuit, and this makes possible to measure PD pulses having fast rise and short duration by a low speed analog-to-digital(A/D) converter. The data are transmitted to the personal computer through the DAQ board, and the designed analysis program calculate apparent charges, discharge inception and extinction voltages.

LC로 구성되는 고전압 필터를 설치하여 잡음을 효과적으로 제거하였다. 결합회로망은 RLC조합으로 구성하였으며, 60 Hz의 상용주파수 시험전압은 완전히 차단하고, 고주파 방전신호만을 통과시키는 고역통과 필터 기능을 갖는다. 본 연구에서는 적용한 결합회로망의 차단주파수를 1 MHz로 설정하였으며, 상용주파수 시험전압은 -270 dB로 감쇄시킬 수 있는 구성이다⁸⁾. 결합회로망에서 검출된 PD 신호는 크기가 수 μ V로 미약하게 나타나므로 증폭도 40 dB를 갖는 증폭회로를 통하여 증폭된다. 증폭회로의 출력단에는 검출회로의 내부 또는 외부로부터의 잡음을 제거하기 위하여 20 MHz의 저역통과 필터를 설치하였다. 그림 2는 검출회로를 적용하여 SMPS용 절연변압기에서 검출한 PD 펄스의 예를 나타낸 것으로 펄스의 크기는 0.86 pC, 상승시간은 35 ns, 지속시간은 70 ns로 측정되었다.

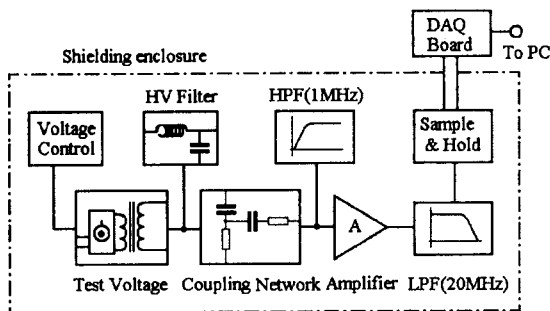
1. 서론

기체 절연에서와는 달리 고체 절연체의 절연과파 전장의 세기는 대단히 높기 때문에 저압용 전기전자부품과 같이 저전압 영역에서 사용되는 고체 절연체의 절연과파는 문제가 되지 않았다. 이러한 이유로 부분방전시험은 주로 고전압 사용기기를 대상으로 수행되어 왔다¹⁾⁻³⁾. 그러나 고체 절연체가 급속도로 박막화되고 고체 절연시스템에서는 절연체 층간 또는 공극이 존재하므로 절연체가 허용하는 내전압보다도 훨씬 낮은 전압에서 부분방전이 발생할 수 있으며, 부분방전은 절연 열화를 촉진시킨다⁴⁾⁻⁷⁾. 또한 저압용 전기전자부품의 절연 평가방법으로 사용하는 내전압 시험은 사용 전압의 5배 정도의 높은 전압을 인가하기 때문에 시험 중 절연열화를 촉진시킬 수 있어 정확한 평가가 어렵기 때문에 새로운 절연평가기술의 개발이 요구된다¹⁾. 이에 대해 부분방전 시험은 내전압시험보다 낮은 전압에서 절연평가가 가능하므로 시험 중 절연열화가 발생하지 않으며, 부분방전에 관한 파라미터의 분석으로 절연체의 적용이나 제조상의 균일도 등 절연에 관한 많은 정보를 얻을 수 있는 장점이 있다. 그러나 현재까지 저압용 전기전자기기 및 부품에 대한 실질적인 절연평가 기준이나 특성이 명확하지 않은 실정이므로 이 분야에 연구가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 저압용 전기전자기기 및 부품을 대상으로 부분방전을 검출에 의한 절연성능 평가를 수행할 수 있는 부분방전 분석장치를 설계·제작하였다.

2. 설계 및 제작

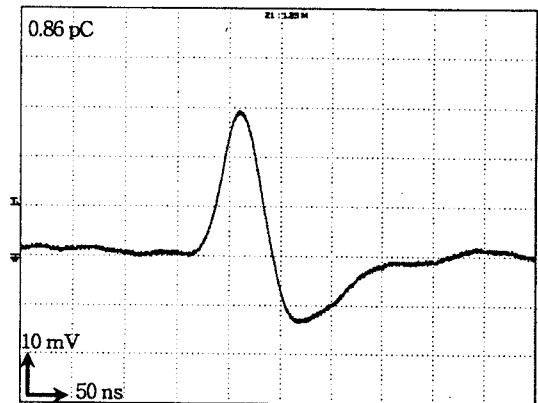
2.1 부분방전 분석장치

본 연구에서 제안한 부분방전 분석장치는 그림 1과 같이 시험전압 공급장치, 결합회로망, 증폭회로, 필터와 차폐함 및 DAQ(Data Acquisition) 시스템으로 구성된다.



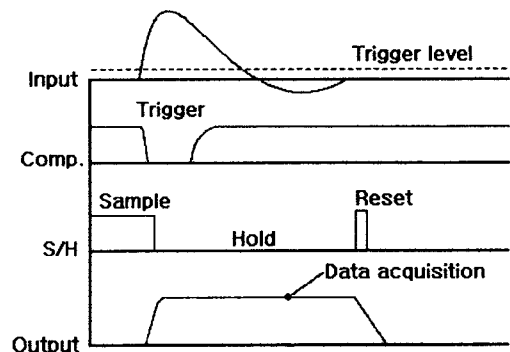
〈그림 1〉 부분방전 분석장치의 구성

시험전압 공급장치는 전원계통에서 전달되는 노이즈 성분을 차단하기 위하여 입력단에 저역통과 필터를 설치하여 완전한 60 Hz 성분의 전압만을 공급할 수 있도록 하였다. 또한 고전압 출력측에는 전도성 접음체를 위해



〈그림 2〉 PD신호 측정 파형 예

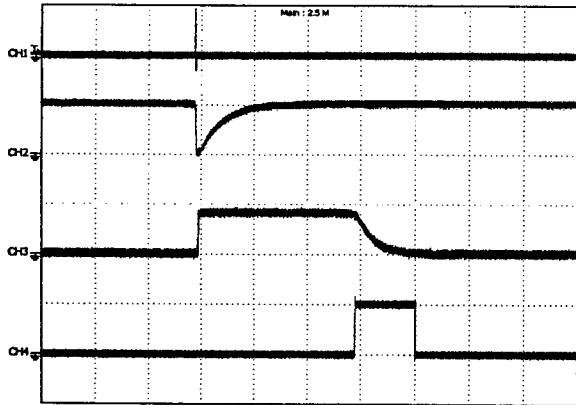
그림 2와 같이 수십 ns 정도의 시간을 갖는 PD 신호의 파형에 대한 정보를 얻기 위해서는 100 MS/s 이상의 고속 샘플링 동작을 하는 고가의 A/D 변환기와 복잡한 주변회로의 구성 또는 DAQ 보드가 필요하다. 그러나 본 연구에서는 샘플-홀드 회로와 비교적 저속의 DAQ 보드를 적용하여 PD 신호에 대한 방전전하량, 방전개시전압, 위상분포 등의 정보를 취득할 수 있는 시스템을 구성하였다. 샘플-홀드 회로의 동작특성을 시간 흐름에 따라 나타내면 그림 3과 같다. PD 펄스가 발생하여 일정 레벨이상으로 되면 트리거 신호가 발생하고, 이때 PD 펄스에 대한 샘플-홀드 동작이 이루어진다. 샘플-홀드 동작 동안에 데이터는 최대값을 유지하므로 데이터 취득이 가능하고, 이후 리셋시켜 다음 PD 펄스에 대한 측정모드로 변환된다.



〈그림 3〉 S-H 동작 흐름도

그림 4는 SMPS용 절연변압기를 대상으로 PD 펄스를 측정할 파형으로 약 100 ns의 시간간격에서 발생하는 PD 펄스는 트리거 신호에 의해 샘플-

홀드 동작이 이루어지고, PD 펄스의 최대값을 15 μ s 정도 유지하게 되는데 이때 DAQ 시스템에 의해 데이터 취득이 이루어진다. 데이터 취득이 완료 되면 샘플-홀드 회로를 리셋시키고, 측정 대기상태로 되는데, 이러한 하나의 PD 펄스에 대한 일련의 측정 시간은 총 20 μ s 동안 이루어진다. 여기서 측정시간은 SMPS용 절연변압기의 경우, PD 펄스 사이의 시간간격이 최소 20 μ s 까지 관측되므로 정확한 측정을 위하여 샘플-홀드 회로의 동작 주기는 20 μ s 이내로 되도록 설정하였다.



CH 1 : PD 펄스 CH 3 : S-H 신호 [50 mV/div 5 μ s/div]
CH 2 : 트리거 신호 CH 4 : 리셋 신호 [5 V/div 5 μ s/div]

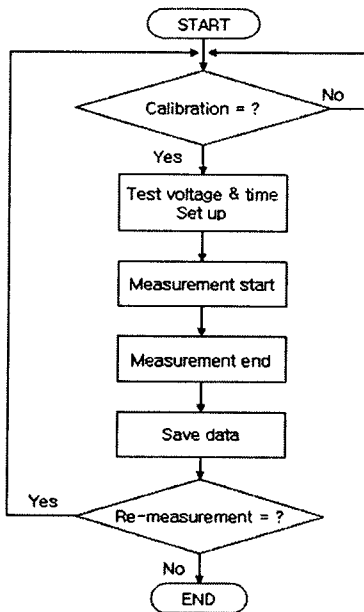
〈그림 4〉 검출된 파형 예

2.2 분석용 프로그램

피시험체에서 발생하는 PD 펄스는 DAQ 시스템을 통해 실시간으로 PC에 전송되며, 분석용 프로그램에 의해 방전전하량, 방전개시전압, PD 펄스의 위상분포 등이 분석된다.

PD 펄스의 측정은 그림 5와 같은 순서에 의해 이루어지며, PD 측정 전에 시료의 정전용량을 고려한 교정이 이루어져야 하며, 교정 이후에는 전압 조정기를 이용하여 전압 인가의 형태와 인가시간을 설정하고, 전압 변화에 따라 나타나는 PD 펄스의 방전전하량을 나타내도록 구성된다.

또한 반복 측정이 가능하도록 구성하였으며, 동일한 시료에 대해서는 한번의 교정 과정 이후 전압 및 측정시간만을 조정하는 것으로 재차 측정이 이루어진다. 반복 측정 과정에서 시료의 종류가 달라지면 교정을 다시 한 후 측정해야 정확한 측정값을 얻을 수 있다. 이는 시료의 종류에 따라 시료 자체 정전용량이 각각 다르며, 시료의 정전용량 변화에 따라 발생하는 PD 펄스의 크기와 형태가 달라지기 때문이다.

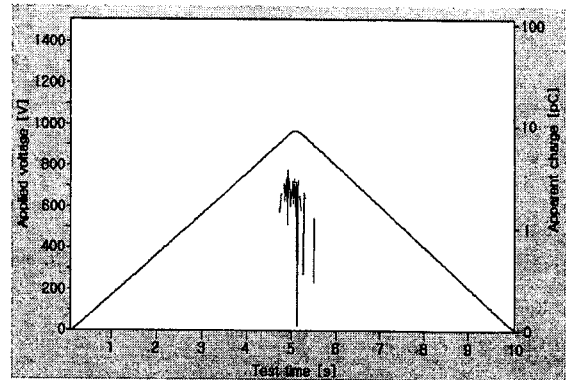


〈그림 5〉 PD 측정 순서도

본 연구에서 설계·제작한 부분방전 측정기를 이용하여 SMPS용 절연변압기를 대상으로 적용실험을 수행하였으며, PD 펄스의 측정 결과는 그림 6과 같이 검출되었다.

적용실험에서 시험전압의 인가는 200 V/s의 비율로 1 kV까지 증가시켰으며, 측정시간은 10초로 설정하였다. PD 펄스는 인가전압 700 V에서 1.5 pC

으로 검출되었으며, 580 V에서 방전이 소멸하는 것으로 측정되었다. 이러한 실험결과는 오실로스코프를 이용하여 측정된 결과와 동일한 수준으로 관측되었으며, 방전개시전압과 소멸전압, 방전전하량은 자동으로 측정되므로 수동 측정시 판독자에 의한 오차를 줄일 수 있으므로 보다 정확한 측정과 분석이 가능한 것으로 판단된다.



〈그림 6〉 인가전압과 PD 펄스 측정 예

3. 결 론

본 논문에서는 저압용 전기전자기기에서 발생하는 PD 펄스를 측정·분석할 목적으로 부분방전 분석장치의 설계 및 제작에 관하여 연구하였으며, 다음과 같은 결과를 얻었다.

부분방전 분석장치는 검출회로, 샘플-홀드 회로, DAQ 보드로 구성되며, 샘플-홀드 회로를 적용함으로써 PD 펄스의 최대값을 DAQ의 처리시간동안 유지할 수 있기 때문에 저가의 저속 DAQ 보드를 사용하면서도 PD 펄스의 측정이 가능하였다.

또한 측정과정에서 시험전압의 조정, PD 펄스의 측정이 자동으로 이루어지므로 판독자의 기기조작 등에 의해 발생하는 오차를 줄이고, 정확한 측정과 분석이 가능하도록 하였다.

SMPS용 절연변압기를 대상으로 한 적용실험 결과로부터 제한한 PD 분석장치는 1pC 레벨의 PD 펄스 측정이 가능하였다. 따라서 저압용 전기전자기기 및 부품에서 PD 펄스 검출에 의한 절연성능 평가 등에 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

향후에는 여러 가지 패턴의 전압 조정이 가능하도록 보완할 것이며, 최종적으로는 PD 펄스의 검출뿐만 아니라 q - n 분석이 가능하도록 연구를 지속해 나갈 것이다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부의 지역혁신 인력양성사업의 연구결과로 수행되었음.

[참 고 문 헌]

- [1] IEC Publication 60270, High-voltage test techniques - Partial discharge measurement, 2000.
- [2] F. H. Kreuger, "Partial Discharge Detection in High-Voltage Equipment", Butterworth, pp.15-104, 1989.
- [3] A. Lapp and H. G. Kranz, "The Use of CIGRE Data Form at for PD Diagnosis Application", IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 7, No. 1, pp. 102-112, 2000.
- [4] A. Kelen and M. G. Danikas, "Evidence and Presumption in PD Diagnostics", IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 2, No. 5, pp.780-795, 1994.
- [5] A. Cavallini, M. Conti, A. Contin and G. C. Montanari, "Advanced PD Inference in On-Field Measurements. Part2: Identification of Defects in Solid Insulation Systems", IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation Vol.10, No.3, pp.527-538, 2003.
- [6] S. A. Boggs, "Partial Discharge - Part III : Cavity-Induced PD in Solid Dielectric", IEEE Electrical Insulation Magazine, Vol. 6, No. 6, pp.11-20, 1990.
- [7] Wolfgang Pfeiffer, "Partial-discharge Testing of Components for Low-voltage Equipment", IEEE Transactions on Electrical Insulation Vol.31 No.4, pp.247-257, 1991.
- [8] 길경석, 송계용, 서황동, 황돈하, 강동식, 김용주, "저압 유도전동기에서 미소 부분방전 측정에 관한 연구", 전기전자재료학회 논문지 제18권 제10호, pp.960-964, 2005.