

전기광학 효과를 이용한 부분방전 신호의 검출

노승수* 장용무* 이정현* 구자윤* 오차환** 김정태***
한양대학교 전기공학과* 한양대학교 물리학과** 대전대학교 전기공학과***

A New Possible Partial Discharge Detection Technique using Electro-optic Effect

S. S. Noh* Y. M. Chang* J. H. Lee* J. Y. Koo* C. H. Oh** J. T. Kim***
Dept. of elec. eng.* Dept. of Phy.** in Hanyang univ. Dept. of elec. eng. in Daejin univ.***

Abstract

In this work, it is proposed new PD(partial discharge) detection technique using electro-optic effect, for which partial discharges generated from needle-plane electrode in air were detected through optical measuring system by use of LiNbO₃ electro-optic crystal.

As a result, it is noticed that PD measurable phase intervals are limited by the asymmetrical D-E hysteresis loop of the crystal with defects and half-wave voltage. However, both number of measured PD pulses and their amplitude were increased with applied voltage, which likely implies that it is possible to detect PD through newly proposed electro-optic method.

1. 서론

최근 전력수요가 급증함에 따라 전력 계통이 대규모화되고, 전력기기가 대용량화되며 계통 전압이 증가하게 되었고, 그에 따라 설비 사고의 가능성이 점진적으로 증가되어 왔다. 또한, 사고 발생시의 직간접적인 파급효과는 사회의 모든 분야에 심각한 영향을 줄 것으로 예상되어, 전력설비의 진단 및 사고 예방기술의 개발이 절실히 필요하다.

전력설비 진단방법 중 부분방전 측정기법은 널리 이용되어 오고 있는 방법으로, 전기적 진단방법과 초음파 진단방법이 있다.[1,2] 이러한 부분방전 측정 기술은 몇 가지 장점에도 불구하고, 여러 단계의 증폭장치가 필요하며 측정장비가 크고 고가이거나 외부 노이즈의 영향이 심각하게 나타나는 등 여러가지 문제로 인해 현장 적용시에 상당한 어려움이 있는 것으로 인식되고 있다.[3]

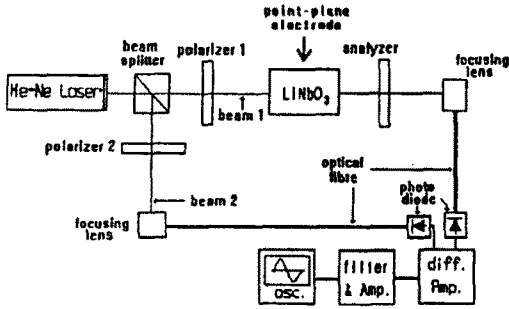
한편, 광학 소자를 이용한 측정방법은 절연 및 잠음 문제를 완전히 해결할 수 있을 뿐 아니라 장비를 작고 가볍게 만들 수 있으며 장거리 전송에도 유리한 방법이어서 고전압 또는 대전류 측정에 이용되어 왔다. 이러한 방법으로는 발광다이오드(LED)를 이용하여 전류·전압을 광의 세기로 변환하여 광섬유로 전송한 후 광신호를 전기신호로 변환하는 방법과 포켈스 효과(Pockels effect) 또는 파라데이 효과(Faraday effect)를 가지는 광학 소자를 이용하여 전압·전류를 광의 편광면의 회전각으로 변조시켜 전송한 후 전기신호로 변환하는 방법이 있다. 그 중 포켈스 효과를 이용하는 전기광학적 방법은 전압이나 전계의 크기 측정에 많이 이용되어 왔으나[4,5,6], 부분방전 신호의 검출에 이용된 사례는 아직 보고되지 않고 있다.

본 논문에서는 전기 신호의 측정에 여러가지 장점이 있는 광학적인 측정에 착안하여, 부분방전시의 전계왜곡 현상을 LiNbO₃ 결정이 갖는 전기광학 효과를 이용 측정하고 부분방전 신호를 검출함으로써, 전기광학 효과를 이용한 부분방전 측정의 가능성에 대해 검토해 보고자 한다.

2. 실험 방법

실험 시스템 구성

그림 1에 나타낸 바와 같이 He-Ne 레이저에서 발생한 레이저 광이 분광기(beam splitter)를 통해 변조광(beam 1)과 기준광(beam 2)으로 나뉘지고, 변조광은 침-평판 전극으로부터 3mm 떨어진 위치에 놓인 LiNbO₃ 결정을 통과하여 변조되어 광섬유로 전송되고 차동 증폭기에 의해 기준광과의 차동분만이 증폭된다. 이 신호는 필터회로와 증폭회로를 거쳐 오실로스코프 Ch. 2 단자로 입력되고, 침-평판 전극에 가해지는 전압은 1000:1 프로우브를 통하여 오실로스코프 Ch. 1 단자로 입력된 후 Ch. 1과 Ch. 2 신호를 비교하였다.



[그림 1] 실험 시스템의 개략도

부분방전 발생부

침-평판 전극구조에서 부분방전을 발생시키기 위해 60 Hz 교류 고전압을 인가하였다. 침전극은 20 μm의 곡률 반경을 갖는 스테인레스 재질이며, 평판 전극은 황동으로 제작하였다. 또한, 침전극의 끝을 제외한 나머지 부분에서 부분방전이 발생되지 않도록, 연결부위는 둥근 모양을 갖게 하였으며 연결부위에 침전극 고정시킬 때 플라스틱 재질의 나사를 이용하여 고정시켰다.

필터부와 증폭부

전 절에 언급한 바와 같이 광학적인 방법으로 부분방전을 측정할 때, 측정된 신호파형은 인가 전압에 의한 성분(60 Hz와 고조파 성분)과 부분방전에 의한 펄스신호가 동시에 나타나게 되므로, 부분방전 신호만을 검출하기 위해 필터링을 해야 하며, 이 펄스파형의 주파수는 인가전압의 주파수 보다 높기 때문에 쉽게 필터링할 수 있다. 아울러 신호가 작기 때문에 적절히 증폭해야 한다.

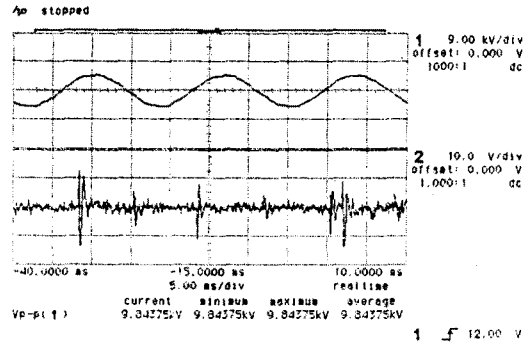
본 연구에서는 1 kHz의 차단주파수를 갖는 Butter-Worth형 고역통과 능동필터(high pass active filter)를 제작하여 사용하였으며, 증폭부의 증폭도를 20 dB로 하였다. 필터회로와 증폭회로는 외부로부터의 노이즈의 영향을 막기 위하여 알루미늄함 속에 집어넣고 차폐하여 접지 처리하였다.

3. 실험결과 및 고찰

일반적으로 침-평판 전극구조에 교류 전압을 인가한 경우의 부분방전은 침전극에 양의 직류 전압을 가하는 경우와 음의 직류 전압을 가하는 경우의 중첩으로 해석될 수 있다. 이때 부분방전 펄스는 공간 전하에 의하여 그 크기와 방전횟수가 결정된다. 부분방전이 개시되는 낮은 전압의 경우에는 음의 반주기에서 부분방전 펄스가 처음 발생하고 전압이 증가됨에 따라 점차 펄스의 크기와 수가 증가한다. 인가전압이 더 증가되면 양의 반주기에서도 불규칙적인 크기의 방전 펄스들이 나타나게 된다. 전압이 더 커지게 되

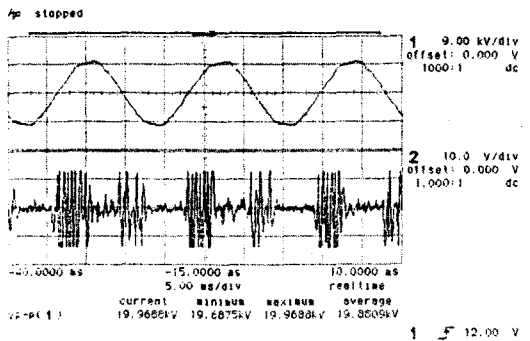
면 방전 횟수가 증가하고 결국에는 전극 사이의 공기가 절연과파가 되어 섬락전류(breakdown current)가 흐르게 된다.[7,8]

본 연구에서는 상기한 바와같은 침-평판 전극구조에서 발생하는 부분방전을 광학적 방법을 이용하여 측정하였다. 그림 2에 전극에 낮은 전압 인가시 광 신호를 필터링하고 증폭시켜 측정된 부분방전 파형을 나타내었다. 결정의 반파장 전계와 비대칭적인 D-E 히스테리시스에 의해 부분방전이 측정되는 위상구간이 제한되고 있으며, 정극성인 경우의 펄스 수와 크기가 부극성의 경우보다 더 크게 나타나는 것을 알 수 있다. 이와 같은 특성은, 앞에서와 같은 일반적인 보고[7,8]와는 상이한 것처럼 보이지만, 인가전압이 부분방전 개시전압 보다 높아 정극성일 때에도 부분방전 펄스가 발생되기 때문인 것으로 생각된다. 이러한 해석은 그림 2에 나타난 양의 반주기에서 측정된 펄스의 크기가 음의 반주기에 비해 크고 불규칙적이라는 점에서도 확인할 수 있다.



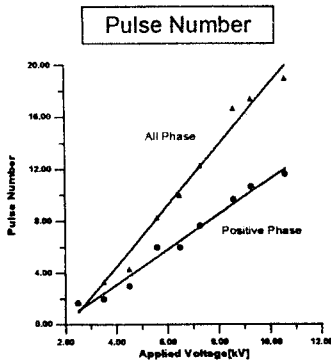
[그림 2] 4.92 kV_{ac} 인가시의 부분방전 측정 파형

그림 3은 보다 높은 전압을 인가한 경우에 측정된 부분방전 파형으로, 부분방전 측정가능한 위상구간을 보다 확실하게 나타내고 있으며, 낮은 전압의 경우인 그림 2 보다 그림 3의 측정 위상구간의 폭이 큰 것은 인가 전압이 커짐에 따라 결정의 광투과도-인가 전계가 선형성을 나타내는 구간이 커지고 이에 따라 부분방전 측정가능한 위상구간이 커지기 때문인 것으로 사료된다.



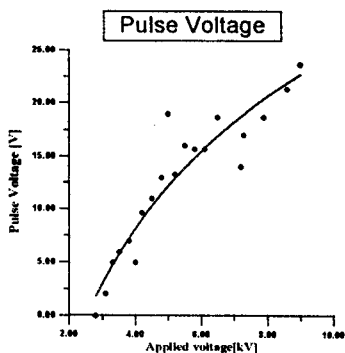
[그림 3] 9.94 kV_{ac} 인가시의 부분방전 측정 파형

한편, 그림 4에 인가 전압 1 주기 동안의 펄스 수와 정극성 구간에서의 펄스 수를 인가 전압에 따라 나타내었으며, 인가 전압이 증가함에 따라 펄스 수도 거의 선형적으로 비례하여 증가하는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 본 연구에서 제시한 전기광학 소자를 이용한 부분방전 측정이 가능하다는 것을 입증하는 것이며, 적절한 보정을 하면 펄스 수의 조사를 통해 부분방전량을 알 수 있음을 의미하고 있다.



[그림 4] 인가전압에 따른 펄스수 변화

또한, 부분방전과 관련하여 본 연구에서 사용한 LiNbO_3 결정이 선형성을 갖는다고 생각되는 전압 구간인 $\pm 2.325 \text{ kV}_{\text{ac}}$ 내의 위상구간에서 측정된 펄스의 크기를 검토해 보았다. 그림 5에 나타낸 바와 같이, 그 위상구간 내에서 펄스의 크기는 인가전압의 증가에 따라 거의 선형적으로 커지는 것을 알 수 있다. 따라서, 광투과도-인가전계가 선형성을 나타내는 위상구간에 대해서는 측정된 펄스의 크기에 따라 부분방전의 발생정도를 파악할 수 있다고 생각된다.



[그림 5] 인가전압에 따른 펄스 크기

4. 결론

본 연구에서는 부분방전 측정방법의 새로운 시도로서 전기광학 소자인 LiNbO_3 결정을 이용한 광학적인 부분방전 측정방법의 가능성에 대해 조사하여, 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- LiNbO_3 결정의 반과장 전계와 비대칭적인 D-E 히스테리시스로 인하여, 인가 전압의 1 주기 중에 부분방전을 측정할 수 있는 위상 구간이 제한됨.
- 인가 전압의 증가에 따라 부분방전의 펄스 수가 증가하였고, 인가전압과 광투과도 특성이 선형적인 위상구간 내에서는 부분방전 펄스의 크기가 인가 전압에 비례하였음.

이상의 결과로부터 전기광학적인 부분방전 측정이 가능하다는 것을 입증하였다. 그러나, 침-평판 전극구조의 기중 부분방전 뿐 아니라 액체 및 고체 절연에서의 부분방전을 측정할 수 있는 방법이 개발되어야 하며, 전기광학 소자의 선택, 부분방전 최소 측정가능레벨의 파악 및 실제 적용에 대해 연구가 진행되어야 할 것이다.

참고 문헌

- [1] J.P. Steiner, " Commercial PD Testing", IEEE Trans. EI, Magazine, Vol. 1, No. 1, pp.20-33, 1991
- [2] E. Howells et al., " Partial Discharge Handbook ", Physical Acoustics Corporation, pp. 1-1 ~ 9-11(1989)
- [3] J.H. Capenter, J.S. Kresge and C.B. Musick, " Ultrasonic Corona Detector in Transformer", IEEE Trans. PAS, Vol. 84, No. 4, pp.647-651, 1965
- [4] "전력기기 예방진단을 위한 미소신호 측정 시스템 개발(최종보고서)", 기초전력공학공동연구소, 1995, 9
- [5] J.Y. Koo, Y.M. Chang, J.Y. Hong, K.L. Cho, "Development of Measuring Techniques for the High Voltage Impulse and Small Signal using Pockels Cell", CEIDP, IEEE, Alington, Texas, U.S.A., pp. 221-226, 1994
- [6] Murooka, Y. and Nakano, T., " Optical High-Sensitive Sensor for Pockels Device using both Light Intensity Modulation and Difference Methods", 7th ISH, 13.03, pp.119-122(1991)
- [7] F.H. Kreuger, " Partial Discharge Detection in High-Voltage Equipment", Butterworth(1989)
- [8] Dieter kind, " High-Voltage Experimental Technique", pp. 126-135 Vieweg(1978)