

ZnO 피뢰기 소자의 저항분 누설전류 측정 및 분석

이복희, 강성만*, 박진우
인하대학교 전기공학과

A Measurement and Diagnosis for Resistive Leakage Current of ZnO Arrester Element

Bok-Hee Lee, Sung-Man Kang*, Jin-Woo Park
Dept. of Electrical Engineering, Inha University

Abstract - This paper describes a new measurement method of resistive current and the technique of deterioration diagnosis for ZnO element. The consequence of current increasing (resistive current) with time is the eventual attainment of a state of thermal instability that may lead to arrester failure. So, it is very important to measure a leakage current of ZnO arrester installed at on-state.

For the high-precision and more reliability, an iron core, which has a very high relative permeability, was used for increasing detection sensitivity, and we also used the personal computer for the data storage and program and analysis.

And we have verified the reliability and performance of the sensing device through several laboratory tests.

1. 서론

피뢰기는 전력계통에 침입하는 뇌서지, 개폐서지, 일시적 과전압 등의 전기적 에너지를 흡수하여 전송선로 및 발·변전기를 보호하는 중요한 전력기기 중의 하나이다. 특히, 산화아연(ZnO) 피뢰기는 우수한 서지 보호특성을 가지고 있어 현재 급속도로 전력시스템에 적용되어지고 있으며, 우수한 비선형 저항특성 때문에 직렬접의 제거를 가져왔다. 따라서 구조가 보다 콤팩트화되고, 제조상의 편리함과 더불어 과도전압에 대한 응답시간이 매우 빨라 과도현상이 없으며, 속류가 거의 흐르지 않는다는 장점을 가지고 있다. 반면에 뇌서지 및 스위칭서지에 의한 스트레스뿐만 아니라 상시 상용 전원에 노출되어 있어 미소 누설전류가 흐른다. 특히, 피뢰기 열화에 직접적인 영향을 미치는 저항분 전류는 시간이 흐를수록 따라 증가하는 것으로 알려져 있어 열화진단에 중요한 요소이다. 그러나 인가전압을 측정해야 하고 별도의 보상회로를 구성해야 하는 복잡함 때문에 기존의 방식으로 실제 현장에서 저항분 전류를 측정하는 것은 부적합하다. 그러나 저항분 전류의 증가와 더불어 고조파 성분 전류가 증가하게 된다. 이러한 상관관계를 이용하여 열화의 지표가 되는 3고조파 전류를 분석하여 열화 유무를 판정할 수 있는 검출 장치가 많이 이용되고 있다.

그러나, 저항분 전류와 어느 정도의 비례관계는 가지고 있으나 완전한 선형성을 보장하지 못하므로 열화분석의 지침은 될 수 있으나 정확한 값을 의미하는 것은 아니다. 그리고 3고조파 성분 전류에 의한 측정은 전원에 포함되어 있는 3고조파 성분에 의해 상당한 오차를 유발할 수 있는 불안한 요소를 갖고 있다.

따라서 현장에서 적용 가능할 수 있도록 전압신호를 측정할 필요 없이 고감도 변류기를 이용하여 전체 누설전류를 측정하고, 동기검출회로를 통한 data는 고속 A/D 변환기를 통해 PC에 입력되고, 데이터 취득 프로그램을 이

용해 저항분 전류를 측정할 수 있는 새로운 방법을 제시하였으며, 검출기의 성능 검증을 위하여 주파수 특성 및 응답감도를 조사하였다. 그리고, 기존의 3고조파 성분 누설전류에 의한 방법과 비교·검토하였다.

2. 측정이론 및 설계

2-1. 보상형 검출장치

산화아연(ZnO) 피뢰기는 병렬 커패시터와 비선형 저항의 조합으로 등가회로 수 있다. 그리고 피뢰기에 흐르는 누설전류는 저항성 및 용량성전류로 이루어져 있다. 저항성 전류를 측정하기 위하여 용량성 전류를 기준 커패시터를 이용하여 보상이었다.

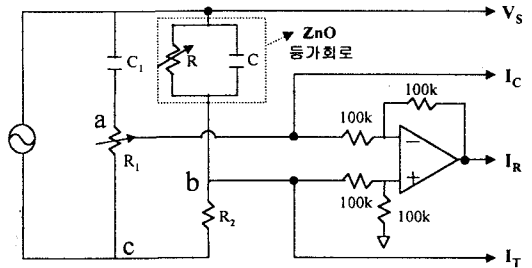


그림 1. 저항성 전류를 측정하기 위한 보상회로
Fig. 1. A compensation circuit used for resistive current measurement

그림 1에 저항성 및 용량성 누설전류성분을 분리측정이 가능하도록 고안된 측정회로를 나타내었다. 그림 1의 회로 분석은 다음과 같은 회로방정식으로 표현할 수 있다.

$$V_{ba} = V_{bc} + V_{ca} = R_2 * (I_R + jI_C) - I_{C1} * R_1 \quad (1)$$

$X_{C1} \gg R_1$ 일 때, I_{C1} 은 순수 용량성 전류로 존재한다고 가정한다. ZnO의 용량성 전류가 기준 커패시터에 의해 보상될 때, 즉

$$\|I_{C1} * R_1\| = I_C * R_2 = V_{ac} \quad (2)$$

$$V_{ba} = I_R * R_2 \quad (3)$$

$$I_T = \frac{V_{bc}}{R_2}, I_R = \frac{V_{bc}}{R_2}, I_C = \frac{V_{ac}}{R_2} \quad (4)$$

2-2. 동기형 검출장치

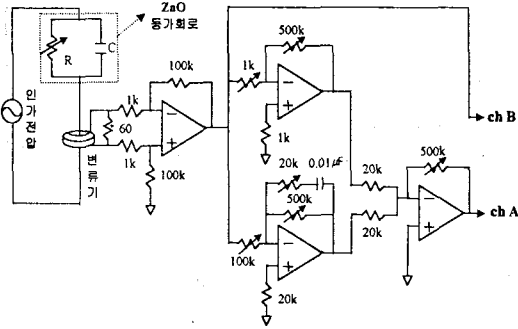


그림 2. 동기검출회로
Fig. 2. Synchronous detection circuit

ZnO의 등가회로에서 용량성 전류는 인가전압보다 90° 앞선 위상을 갖지만, 저항성전류는 동위상 값을 나타낸다. 따라서 전체 누설전류(용량성+저항성) 실신호의 위상을 90° 지연시킨 파형과 실신호의 파형을 합성한 파형(chA)은 인가전압의 피크치에서 피크값을 갖는다. 따라서 인가전압을 측정하지 않고 합성파형이 피크치를 갖는 동위상에서의 실신호(chB)의 값은 순수한 저항성 전류값을 나타내게 된다. CT의 출력전압을 높이기 위해서는 출력저항을 크게 하면 되지만 반면에 검출감도의 선형성이 저하된다. 실험결과, 실신호의 누설전류를 검출하기 위한 출력저항으로는 60[Ω]이 양호한 특성을 나타내었다. 그림 2는 검출회로를 나타낸 것이며, CT 출력신호를 검출하기 위한 출력저항과 미소전압신호의 증폭과 동시에 잡음신호를 최소화하기 위한 차동증폭기로 구성되어 있다. 그리고 합성파형을 검출하기 위해 반전증폭기와 반전증폭한 파형을 합성하고, 다시 반전증폭을 하였다. 합성파형과 실신호를 고속 A/D보드를 통해 PC에 전송하여 data의 보관, 처리, 파형분석을 하였다.

3. 검출시스템의 구성

전체 누설전류 실 신호 파형 및 합성 파형을 측정하기 위한 검출장치를 그림 3에 나타내었다.

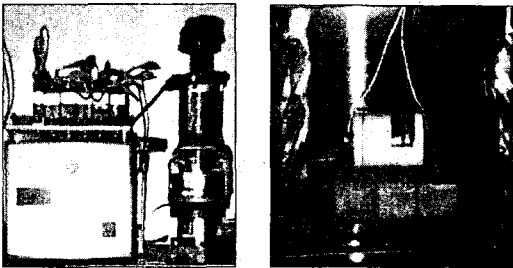


그림 3. 측정장치 및 측정용 전극의 사진
Fig. 3. Photograph of measurement device and electrode for ZnO block test

실험장치의 구성은 고압변압기(100V:15,000V), ZnO 소자 측정용 전극, 변류기, DSO (TDS 644B), 고속 A/D보드, data를 저장·분석하기 위한 PC등과 ZnO소자의 온도특성을 알아보기 위한 소자 가열용으로 전기로를 사용하였다.

4. 실험결과 및 고찰

4-1. 검출기의 기본특성

(1) 주파수 특성

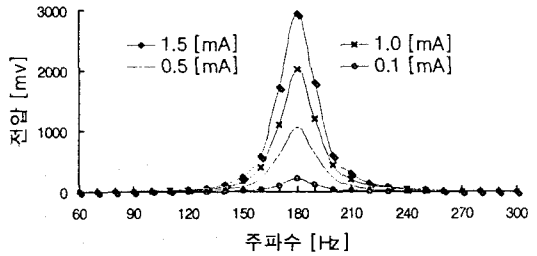


그림 4. 3고조파 검출장치의 주파수 특성
Fig. 4. Frequency characteristics of the 3rd order harmonics detection device

그림 4는 전류가 일정할 때, 3고조파 검출장치의 주파수-전압특성을 나타낸 것이다. 180[Hz]를 중심주파수로 하고 첨예도(sharpness)가 18, 대역폭이 10[Hz]인 주파수 특성을 나타내었다. 누설전류의 값이 증가할수록 검출장치의 첨예도는 증가하였으며, 제 3고조파 성분의 검출이 가능함을 알 수 있다.

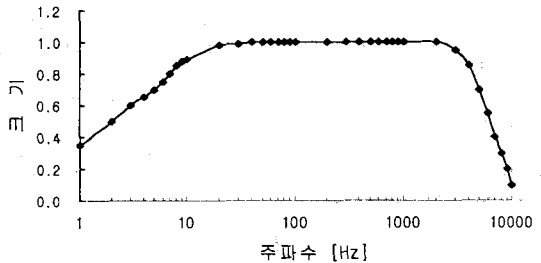


그림 5. 동기회로 검출장치의 주파수 특성
Fig. 5. Frequency characteristics of Synchronous detection device

그림 5는 동기회로 검출장치의 주파수 특성을 나타낸 것이다. 전체 누설전류의 주파수성분을 고려했을 때 감쇠 없이 누설전류를 검출할 수 있음을 알 수 있다.

(2) 응답 감도

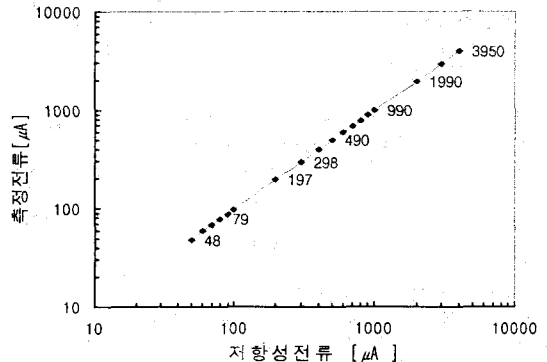


그림 6. 동기회로 검출장치의 응답감도
Fig. 6. Response sensitivity for synchronous detection device

그림 6에 보상회로 검출장치에 의해 보정한 동기회로 검출장치의 저항성전류에 대한 응답감도를 나타내었다. A/D 컨버터에 의한 양자화오차와 외부잡음에 대한 오차가 미소하게 나타났지만 결과는 정밀하였다.

4-2. 실증실험 결과

(1) 저항성 전류의 측정

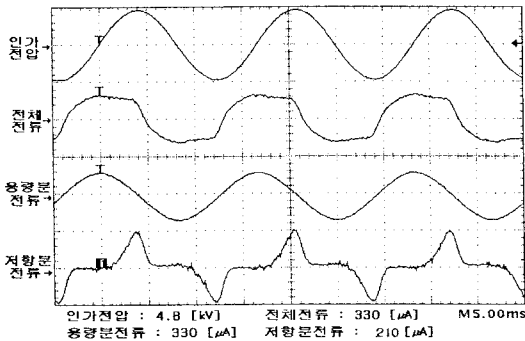


그림 7. 보상검출장치를 통한 저항성 전류 파형
Fig. 7. Waveforms of the resistive current by compensation detection device

그림 7은 정격전압 3(kV), 5(kA)이고, 직경 33(mm), 두께 29(mm)인 배전용 피뢰기에 사용하는 ZnO소자에 피크치 4.8(kV)인 상용 전원을 인가하여 보상검출장치를 통해 전체전류, 용량성전류, 저항성전류를 디지털 오실로스코프를 이용하여 측정된 파형이다. 이때 저항분 전류는 인가전압 최대치에서 200(μA)의 최대값을 가지는 것을 알 수 있다.

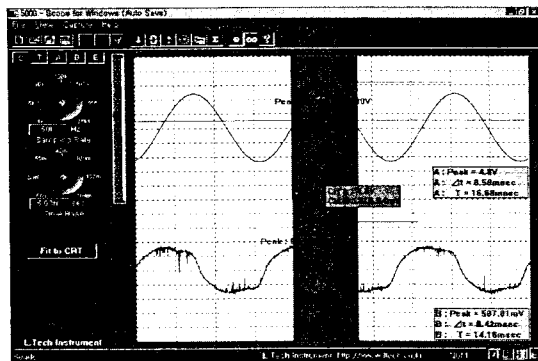


그림 8 동기검출장치를 통한 데이터 분석 화면
Fig. 8 Screen of data analysis by synchronous detection device

그림 8은 동기검출장치를 이용하여 그림 7과 동시에 측정된 데이터 분석 화면이다. chA에 합성 파형과 chB에 실신호를 입력받아 chA의 최대치에서 chB의 값을 나타내도록 프로그램 되어 있다. 파형의 화면 출력과 더불어 필요한 데이터를 파일로 저장하고 주파수 분석이 가능하며, data의 속성 변환이 용이하여 상용 프로그램과 호환성이 양호하다. 측정 결과는 210.94(μA)로 그림 7의 보상검출장치에 의해 측정된 값과 거의 동일한 값을 나타내었다.

(2) 저항성 전류의 주파수분석

보상검출장치를 이용해 검출한 저항성 전류를 주파수분석(FFT)을 통해 각 고조파 성분에 대한 응답감도를 그림 9에 나타내었다.

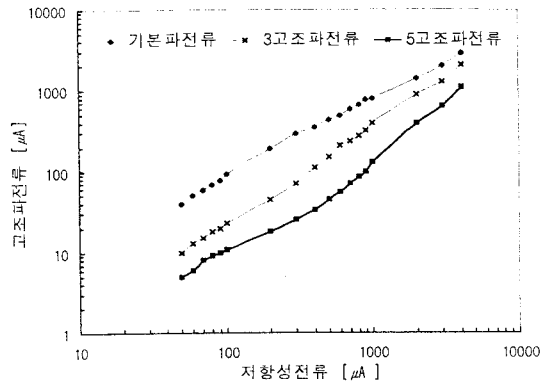


그림 9. 저항성전류에 대한 고조파성분의 응답감도
Fig. 9. Response sensitivity for harmonics component in resistive current

기본파 성분에 비해 3고조파 성분과 5고조파 성분의 응답감도는 저항성전류에 대해 어느 정도 비례하여 증가하지만 저항성 전류의 크기가 커질수록 선형성이 저하되는 것을 알 수 있다. 더욱이 전원에 3고조파 성분이 1.5%정도 포함되어 있는 가혹한 곳에서는 상당한 오차를 유발할 수 있다.⁽²⁾

5. 결 론

본 논문에서는 피뢰기용으로 사용되는 ZnO소자의 전 누설전류와 저항분 전류의 측정할 수 있는 동기검출장치 및 3고조파 전류를 측정 할 수 있는 검출장치를 설계 제작하고 보상검출장치를 이용한 검증실험을 통하여 3고조파에 의한 열화진단과 비교·검토하였다. 그 결과 동기검출장치에 의해 정확한 저항분 전류를 측정할 수 있었고, 3고조파 측정이 자체 선형성의 오차와 상용 전원으로부터 발생하는 고조파에 의한 오차를 고려할 때 보다 신뢰성이 있음을 확인하였다. 그러나 피뢰기의 열화판정에 기준이 되는 한계값의 확립을 위해서는 보다 많은 데이터의 확보가 우선되어야 할 것이며, 실증적 연구가 필요하므로 향후 계속적인 연구가 요구된다.

[참 고 문 헌]

- [1] S. Tominaga, Y. Shibuya, Y. Fujiwara, M. Imataki, T. Nitta, "Stability and long term degradation of Metal Oxide surge arrester", IEEE Trans. on power Apparatus and System, Vol. PAS-99, No. 4 July/Aug 1980
- [2] S. Shirakawa, F. Endo, H. Kitajima, S. Kobayashi, K. Kurita and K. Goto, M. Sakai, "Maintenance of surge arrester by a portable arrester leakage current detector", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.3, No 3, July 1988
- [3] J. Lundquist, L. Stensrom and A. Schei, B. Hansen, "New method for measurement of resistive leakage currents of Metal-Oxide surge arrester in service", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.5, No 4, November 1990
- [4] 이복희, "高電壓 大電流工學", 청문각, pp. 150~186, 1993
- [5] M. V. Lat "Thermal properties of metal oxide surge arresters", IEEE Transaction on Power Apparatus and system, Vol. PAS-102, No. 7, July 1983
- [6] W. G. carlson, Dr. T. K. Gupta, A. Sweetana "A procedure for estimating the life time of gapless metal oxide surge arresters for AC application", IEEE Transaction on Power systems, Vol. PWRD-1, No. 2, April 1986