2003년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 2003.7.21-23

산화아연 피뢰기의 열화진단을 위한 저항성누설전류의 고정도 측정기법 및 장치의 개발

이복희*, 강성만*, 전덕규**, 박건영*, 최휘성*, 조성철*, 백영환*, 이동환*
*인하대학교 차세대 고전압전력기술연구센터, **서울산업대학교

A Development of the High Precise Measuring Device and Methods of Resistive Leakage Current for the Deterioration Diagnosis of ZnO Arrester

B.H. Lee*, S.M. Kang*, D.K. Jeon**, K.Y. Park*, H.S. Choi*, S.C. Cho*, Y.H. Baek*, D.H. Lee*
*HIERC Inha University, **Seoul National University of Technology

Abstract - This paper deals with a development of the high precise measuring device of resistive leakage current for the deterioration and diagnosis of ZnO arresters. The resistive leakage current increasing with time leads to a thermally unstable state that may even experience a disaster. So, the resistive leakage current can be used as an indicator to discriminate whether the ZnO arrester blocks is in good state or in bad. The resistive leakage current measuring system with an analysis program operated with micro-processor using the time delay addition method was designed and fabricated. The proposed measuring systems for the resistive leakage current can effectively be used to develop the techniques of forecasting the deterioration of ZnO arresters in electric power systems.

1. 서 론

산화아연(ZnO) 피뢰기는 상시 인가되는 운전전압에 의해서도 지속적인 스트레스를 받게 되어 운전전압에서도 미소누설전류가 흐른다. 산화아연 피뢰기에 흐르는 상시 미소누설전류는 용량성과 저항성 누설전류의 합성으로 나타나며, 산화아연 피뢰기의 열화에 의해 주로 저항성 누설전류는 증가하나 용량성 누설전류는 거의 변하지 않는다. 오랜 사용으로 자연적 또는 인위적 열화에 의해 피뢰기소자의 저항성 누설전류가 증가하여 발열량이 증가하고 n형 반도체인 산화아연 피뢰기의 부온도 특성에 의해 저항성 누설전류는 더욱더 증가하게 되어 결국에는 열파괴되어 보호장치로서의 역할을 충분히 발휘하지 못하고 사고를 유발시키게 된다. 특히, 피뢰기 열화에 직접적인 영향을 미치는 저항분 전류는 시간이 흐름에 따라 증가하는 것으로 알려져 있어 열화진단에 중요한 요소이다. 그러나 피뢰기의 접지선에 흐르는 전체 누설전류로부터 열화에 직접적인 관련이 있는 저항성 누설전류를 정확히 측정하는 것은 결코 간단치가 않다.

따라서 본 연구에서는 고감도 변류기를 통해 전압 요소 없이 전체 누설전류를 측정하여 A/D변환기, 마이크로 프로세서, 데이타 취득 프로그램을 통해 저항분 전류를 측정할 수 있는 새로운 알고리즘 및 측정장치를 설계/제작하였으며, 보상회로장치 및 제 3고조파 측정장치와의 검증 실험을 통해 성능 및 신뢰성을 입증하였다. 본 연구에서 제안한 시간지연 합성법에 의한 저항성 누설전류측정기의 개발은 피뢰기의 열화진단의 정확성과 현장 적용의 용이성을 제공하는데 매우 유용할 것으로 기대된다.

2. 누설전류를 이용한 열화진단

2.1 보상회로법

산화아연(ZnO) 피뢰기는 병렬 커패시터와 비선형 저항의 조합으로 등가화할 수 있다. 그리고 피뢰기에 흐르는 누설전류는 저항성 및 용량성전류로 이루어져 있다. 보상회로법은 그림 1과 같이 산화아연 피뢰기에 전기전도에 의해서 흐르는 순수한 저항성 누설전류만를 측정하기 위하여 용량성 누설전류 성분을 기준커패시터를 이용하여 보상하는 방법이다.[1]

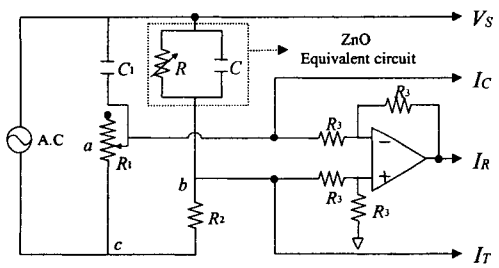


그림 1. 저항성 누설전류를 측정하기 위한 보상회로.
Fig. 1. A compensation circuit used for resistive leakage current measurement.

보상회로에서 산화아연 피뢰기에 흐르는 용량성 누설전류가 기준 커패시터에 의해 완전 보상될 때 다음과 같은 관계식에 의해 각 성분의 전류를 구할 수 있게 된다.

$$I_T = \frac{V_{bc}}{R_2} \ , \ I_R = \frac{V_{ba}}{R_2} \ , \ I_C = \frac{V_{ac}}{R_2}$$

이 때 저항 R_1은 용량성 누설전류 성분이 인가된 전위의 영점교차점에서 제거되도록 조정된다. 그리고 b점과 a점 사이의 전위차 ($V_{bc} - V_{ac}$)를 측정하기 위하여 차동증폭기를 이용한다.

그림 2에는 배전용 피뢰기에 사용하는 산화아연 바리스터에 상온 25[℃]에서 4.5[kV_p], 5.0[kV_p], 5.2[kV_p]인 상용주파 교류전압을 인가하였을 때 각각의 인가전압과 전체누설전류 및 보상회로법을 이용하여 측정한 용량성 누설전류, 저항성 누설전류의 파형을 나타내었다.

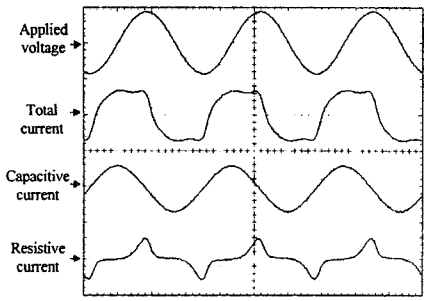


그림 2. 보상회로를 통해 측정한 누설전류 파형.
Fig. 2. Waveforms of the leakage currents by compensation circuit.

저항성 누설전류는 인가전압의 피크치 부근에서만 흐르며 인가전압이 산화아연 바리스터의 동작개시전압 부근에서는 전압크기의 미소한 변동에 대하여도 저항성 누설전류의 크기는 대단히 크게 변동함을 알 수 있다. 그러나 보상회로법은 고정도 저항성 누설전류의 측정이 가능하지만 인가전압을 측정해야 하므로 활선상태에서 용이하지 않으며, 피뢰기의 종류와 규격, 주위온도 등에 따라 보상 커패시터의 정확한 용량 조절이 필요하므로 오차를 유발시킬 가능성이 크므로 정밀한 측정이나 자동계측에 적용하기에는 어려운 단점을 포함하고 있다.[2]

2.2 제 3고조파 전류 측정법

산화아연소자 접지선에 흐르는 전체 누설전류를 제3고조파 측정장치를 이용해서 검출한 제 3고조파 전류와 동시에 보상회로를 통해 얻은 각 성분의 파형을 그림 3에 나타내었다.

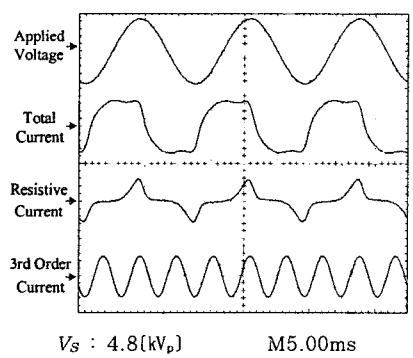


그림 3. 제 3고조파 전류 측정장치를 통한 누설전류 파형.
Fig. 3. Waveforms of the leakage currents by 3rd harmonics current detection device

산화아연 바리스터에 인가전압이 점차 증가함에 따라 전체 누설전류 파형의 왜곡이 두드러지고 더불어 제 3고조파 전류가 현저히 증가하였다. 그러나, 제 3고조파 전류의 크기가 저항분 전류와 어느 정도의 비례관계는 가지고 있으나 일정전류 범위에서 응답전압의 직선성이 벗어나므로 열화분석의 지침은 될 수 있으나 정확한 값을 의미하는 것은 아니다. 더욱이 3고조파 성분 전류에 의한 측정은 전원에 포함되어 있는 3고조파 성분에 의해 상당한 오차를 유발할 수 있는 요소를 갖고 있다.[3]

2.3 시간지연 합성법

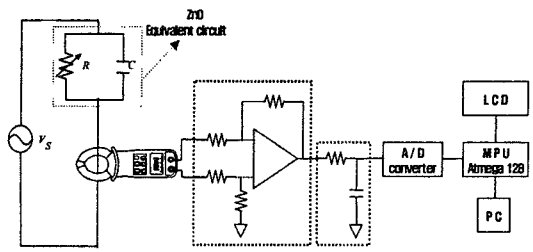


그림 4. 시간지연 합성법을 적용한 누설전류 검출장치의 구성도.
Fig. 4. Schematic diagram of the leakage current detection device with the time delay addition method.

그림 4는 시간지연합성법을 적용한 누설전류 검출장치의 구성도를 나타내고 있다. 신호검출부는 활선상태에서 누설전류를 검출할 수 있도록 주파수대역이 5Hz~15㎑을 갖는 고감도 관통형 변류기를 사용하였다. 미소한 누설전류를 증폭하고 차동모드 노이즈를 차단하기 위해 차동증폭기와 1㎑ 이상의 고주파 노이즈를 제거하기 위한 저역통과필터를 설계하였고, 마이크로 프로세서는 해상도가 10bit인 A/D변환기와 16㎒의 clock 주파수와 8bit의 data bus로 구성되어 있다. 마이크로 프로세서는 A/D변환기에 입력된 신호로부터 시간지연 합성법에 의해 전압 피크시간을 계산하고 제안된 알고리즘에 의해 연산한 전체 누설전류 및 저항성 누설전류의 크기를 4×12 line LCD에 출력하도록 프로그램을 구성하였다. 또한 PC와 접속하여 계산알고리즘에 의해 생성된 전체 누설전류 및 저항성전류, 용량성전류의 파형을 PC에 전송하여 표현할 수 있도록 하였다. 그림 5에는 시간지연 합성법을 적용한 누설전류 검출장치의 사진을 나타내었다.

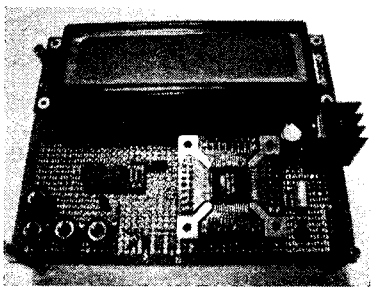
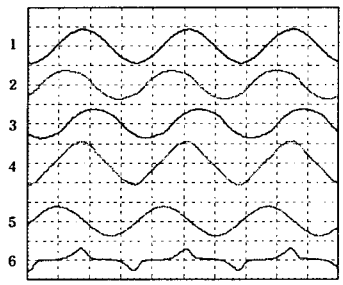


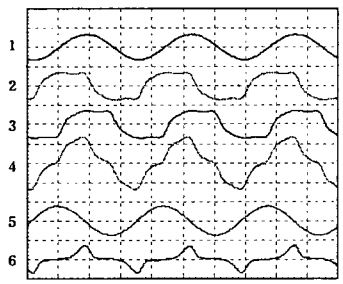
그림 5. 시간지연 합성법을 적용한 누설전류 검출장치의 사진.
Fig. 5. Photo. of the leakage current detection device with the time delay addition method.

그림 2에서와 같이 전체 누설전류는 인가전압보다 90°앞선 위상을 갖는 기본 정현파의 용량성 전류와 인가전압의 피크치에서 피크치를 갖는 비정현파의 저항성 전류의 합으로 나타난다. 전체 누설전류(그림 6의 2)를 1/4주기 즉, 4.166ms 만큼 지연시킨 지연파형 (그림 6의 3)과 원래파형(그림 6의 2)을 더하여 합성파형(그림 6의 4)을 얻어낼 수 있다. 이때 합성파형(그림 6의 4)의 피크치는 항상 인가전압(그림 6의 1)이 피크치를 갖을 때 나타나게 되고 더불어 그 때의 전체누설전류에

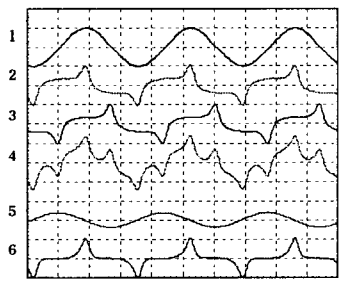
서의 값은 순수 저항성전류(그림 6의 6)의 값을 지시한다. 따라서 합성파형이 피크치를 갖는 시간에 원래파형의 값을 읽을 수 있다면 순수 저항성전류 값을 측정할 수 있게 된다. 그림 6에 시간지연 합성법을 통한 각 성분의 누설전류와 인가전압의 파형을 나타내었다.



(a) V_S:3.2[kV_p] 5 [ms/div]



(b) V_S:4.8[kV_p] 5 [ms/div]



(c) V_S:5.2[kV_p] 5 [ms/div]

그림 6. 시간지연 합성법을 통한 누설전류와 인가전압의 파형.
Fig. 6. Waveforms of the applied voltage and leakage current components measured by the time delay addition method.

인가전압을 저항성전류가 용량성전류에 비해 작게 나타나는 3.2[kV_p](그림 6의 (a)), 동일하게 나타나는 4.8[kV_p](그림 6의 (b)), 저항성전류가 용량성전류에 비해 크게 되는 5.2[kV_p](그림 6의 (c)) 3가지 어느 경우에도 합성파형의 피크치를 갖는 시간에서의 전체 누설전류의 값은 순수 저항성전류의 값을 지시한다는 것을 알 수 있다. 따라서 시간지연 합성법에 의한 측정은 다른 측정법에 비해 매우 정확하게 저항성 누설전류의 측정이 가능하다. 그리고 합성파형이 피크치를 갖는 시간에서의 전체 누설전류의 값은 저항성전류의 피크치를 나타내고 이보다 1/4주기 빠른 시간에서의 전체 누설전류의 값은 용량성전류의 피크치를 나타내게 된다. 즉, 1/4주기 앞선 시간에서 전체 누설전류의 값으로부터 용량성전류 피크치에 대한 정보를 얻고 인가전압으로부터 용량성전류의 주파수에 대한 정보를 얻음으로써 인가전압보다 1/4주기 앞선 용량성전류에 해당하는 정현파를 발생시킬 수 있다. 따라서 원래파형으로부터 앞에서 발생시킨 소거파(그림 6의 (5))를 감산하게 되면 순수한 저항성전류파형(그림 6의 (6))을 구할 수 있게 된다.

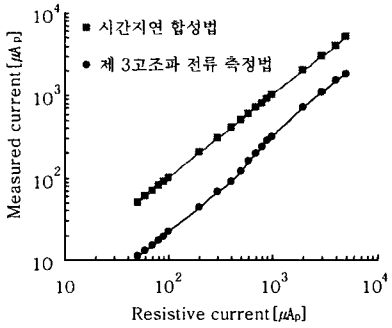


그림 7. 누설전류 측정장치의 응답감도.
Fig. 7. Response sensitivity to the leakage current.

그림 7에는 시간지연합성법의 알고리즘을 적용한 누설전류 검출장치 및 제 3고조파 측정장치의 응답감도를 나타내었다. 제 3고조파 측정장치의 응답감도에 비해서 선형성이 매우 향상되었으며 보상회로을 통해 측정한 값과 거의 일치하는 것을 확인 할 수 있다.

3. 결 론

본 논문에서는 마이크로 프로세서를 기반으로 시간지연 합성법을 적용하여 산화아연 피뢰기 접지선에 흐르는 전체누설전류 중에서 피뢰기의 직접적인 열화인자인 저항성 누설전류를 정확하게 측정할 수 있는 알고리즘과 검출장치를 개발하였으며, 실증실험을 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 보상회로법은 비교적 정확한 저항성 누설전류의 측정이 가능하지만 인가전압을 측정해야 하므로 활선상태에서 용이하지 않으며, 제 3고조파 전류 측정법은 일정 전류 범위에서 응답전압의 직선성이 벗어나고 외부요인에 의해 상당한 오차를 유발할 수 있다.
(2) 시간지연 합성법에 의한 저항성 누설전류측정기의 개발은 피뢰기의 열화진단의 정확성과 현장 적용의 용이성을 제공하는데 매우 유용할 것으로 기대된다.

[참 고 문 헌]

[1] 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 Trans, Vol.3, No 3, July 1988
[2] 이복희, 강성만, "산화아연 피뢰기소자에 흐르는 저항분 누설전류의 검출기법", 조명·전기설비학회 논문지, Vol.15, No.3, pp.67~73, 2001.5.
[3] Bok-Hee Lee, Sung-Man Kang, Ju-Hong Eom, Tatsuo Kawamura, "A Monitoring Device of Leakage Currents Flowing through ZnO Surge Arresters" Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 42(2003) pp.1568-1574 Part 1, No. 4A, 15 April 2003