

18kV 배전용 피뢰기의 누설전류 분석

박정남, 이용희, 신양섭, 서정민, 장수형
LG산전(주) 전력연구소

Leakage Current Analysis of 18 kV Lighting Arrester

J. N. Park, Y. H. Lee, Y. S. Shin, J. M. Su, S. H. Jang
LG Industrial Systems Electrotechnology R&D Center

Abstract - In general, ZnO lighting arrester are known to exhibit an increases in resistive current with time, the rate of increase being exacerbated with increasing applied voltage. In addition, since the resistive leakage current caused by deterioration of ZnO lighting arrester mainly caused an increase of the third harmonic component, thereby it is possible the arrester degradation diagnosis by measuring the third harmonic component in the total leakage current. So, in this paper, we presents a leakage current measuring and analysis system of 18[kV] ZnO lighting arrester.

킬 수 있는 filter가 필요하다.[4,10] 다음의 그림 1은 실험장치의 블록도이다. 실험에 사용한 DSO는 Tektronix TDS 3034 300MHz, 2.5GS/S 이다.

1. 서 론

전력계통에는 직격뢰와 유도뢰에 의해 외부로부터 유입되는 뇌 서지와 switch 동작으로 인한 개폐 서지 등의 이상전압에 대한 보호를 위해 계통과 병렬로 피뢰기를 설치한다. 피뢰기는 ZnO소자의 비선형 저항특성에 의해 이상전압이 계통에 유입되었을 때 낮은 전압으로 억제시키고 이때 발생하는 방전전류를 대지로 방출시키는 보호동작을 수행하여 계통으로 유입되는 이상전압을 차단하는 역할을 한다[1-3].

그러나 이러한 과정에서 방전전류에 의해 ZnO소자의 열화가 발생하여, 정상전압에서도 누설전류가 증가하여 전력손실이 유발되고, 계속되는 보호동작으로 인해 보호장치로서의 기능을 상실하여 이상전압에서 사고를 일으키게 된다. 또한 부하 부담이 큰 선로일수록 많은 수의 부하 설비에 의해 피뢰기의 설치 개수는 상대적으로 많아지고, 복잡한 연계에 의해 이상전압의 발생 빈도가 증가하여 피뢰기의 보호동작 회수도 증가하게 되었다. 따라서 피뢰기의 보호기능을 유지하고 사고를 방지하기 위해서는 적절한 방법에 의한 열화진단으로 피뢰기의 교체가 이루어져야 한다[5-8].

지금까지 제안되고 있는 방법으로는 전 전류 측정법, 저항분 누설전류 측정법, 3고조파 측정법이 있으며 주로 피뢰기의 ZnO 소자의 열화에 주목되어 있다. 그 중에서도 가장 일반적으로 이루어지고 있는 열화진단의 방법은 전 누설전류에 포함되어있는 저항분 누설전류와 3고조파 성분의 누설전류를 분류하여 분석하는 방법이다.[4,6,8-10]

따라서 본 논문에서는 18[kV] 배전급 피뢰기의 열화진단을 위한 연구로 ZCT를 이용하여 피뢰기의 누설전류를 측정하고 3고조파 누설전류를 분석하였다.

2. 본 론

2.1 실험방법

피뢰기의 누설전류를 측정하기 위해서는 우선 전류를 검출할 수 있는 검출소자, 검출된 신호를 증폭할 수 있는 증폭기, noise를 제거하고 저주파 신호만을 통과시

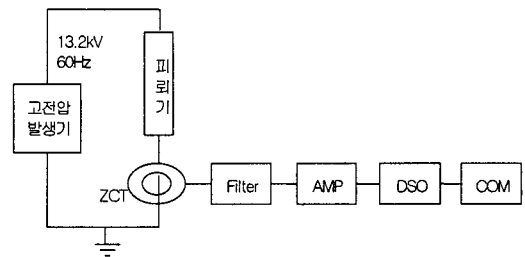


그림 1. 피뢰기 누설전류 검출 및 분석 블록도

그러나 피뢰기의 정상상태에서의 누설전류는 그 크기가 매우 작으므로 검출소자의 전류 검출감도가 매우 중요하고, 열화된 피뢰기에서는 누설전류가 급격히 증가하므로, 전류의 크기와 주파수에 따른 검출소자의 선형성이 중요하다. 본 논문에서는 작은 전류에서도 감도가 우수한 검출소자로서 ZCT를 선정하였고, 선형성을 개선하여 수십[uA]~수십[mA] 영역까지의 전류 검출이 가능하게 하였다. 이때 ZCT의 전류 검출감도는 50[mA]/10[mV] 이다. 또한 측정된 신호는 DFT 알고리즘을 이용하여 3고조파 누설전류의 크기를 분석하였다.

2.2 실험결과

피뢰기의 누설전류를 검출하고 분석하기 위해 신호 검출소자인 ZCT의 성능을 평가하고 18[kV] 배전급 피뢰기의 정상시편과 열화시편의 누설전류를 측정·분석하였다.

2.2.1 ZCT 특성 평가

ZCT는 수십[uA]의 매우 작은 전류도 측정할 수 있지만 수십[uA]~수[mA]의 전류에 대하여 그 출력 결과의 선형성을 유지하기가 어렵다. 또한 피뢰기의 매우 작은 누설전류로 인하여 증폭기의 증폭비가 매우 커져야 하지만, 이때 외부 noise도 증가하는 결과가 발생한다. 따라서 ZCT로 선형성을 유지하고 noise를 제거하면서도 큰 증폭비를 갖는 증폭기의 설계가 필수적이다. 본 연구에서는 ZCT의 내부 출력 저항을 교체하여 출력값의 선형성을 개선시켰고, 증폭기는 noise 제거용 OP-Amp와 low-pass filter를 사용하여 제작하였다.

다음의 그림 2는 ZCT를 이용하여 입력전류가 50[uA] 일 때의 최종 출력결과를 나타낸다. ZCT에 전류 입력원으로 사용한 전류원은 YOKOGAWA의 2558 AC Voltage Current Standard이다. 매우 미소한 입력전류에서도 60Hz Sin wave의 출력을 나타내는 것을 알 수 있다.

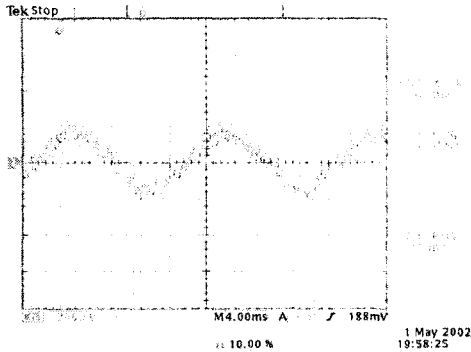


그림 2. ZCT로 측정한 50[μ A] 전류

그림 3은 인가 전류의 크기와 주파수에 대한 ZCT의 응답특성을 나타낸 것이다. 수십[μ A]~수[mA]에 이르기까지, 입력전류의 크기에 대해서는 일차원적 증가 양상을 보이고 있고, 주파수의 변화에 대해서는 일정한 출력을 갖는 선형적인 특성을 가지고 있다.

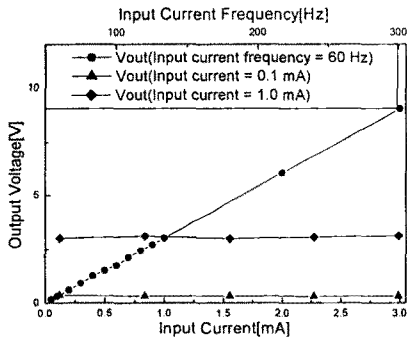
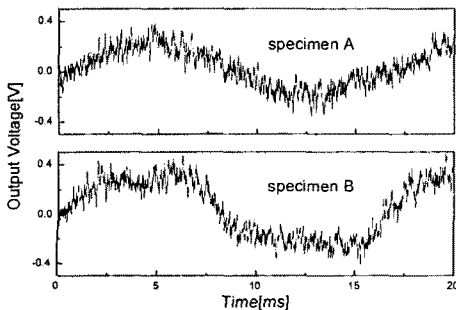


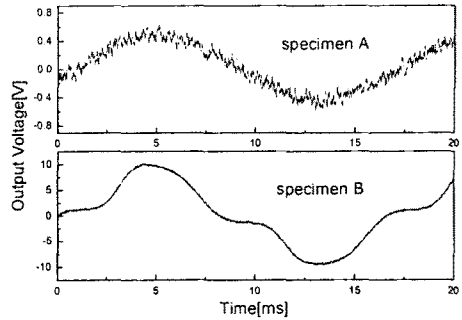
그림 3. ZCT의 응답특성 결과

2.2.2 피뢰기의 누설전류 측정 및 분석

위에서 응답특성을 증명한 ZCT와 증폭기, filter를 이용하여 피뢰기의 누설전류를 측정하였다. 다음의 그림 4는 정상 시료 A와 열화된 시료 B에서 정격전압(13.2[kV])과 정격전압의 2배(24.2[kV])인 인가전압에 의하여 발생하는 전 누설전류의 파형을 나타내고 있다. 13.2[kV]에서는 두 피뢰기 모두 비슷한 크기의 출력값을 갖지만 시료 B에서는 신호가 왜곡되어있는 형태를 갖는다. 그러나 정격전압의 2배인 26.4[kV]에서는 정상 시료인 A의 출력에서는 Sin wave 형태를 갖고 크기는 2배로 증가한 반면 열화된 시료인 B에서는 매우 심하게 왜곡되고 크기는 20배 이상 증가되어 나타난다.



(a) 13.2[kV]에서의 전 누설전류



(b) 26.4[kV]에서의 전 누설전류

그림 4. 정상상태의 피뢰기와 열화된 피뢰기의 인가 전압에 따른 전 누설전류의 파형

열화된 피뢰기에서 나타나는 이러한 특성을 다음의 그림 5에서 정상 상태의 피뢰기(A)와 열화된 피뢰기(B)의 인가전압에 따른 전 누설전류 변화로 나타낸다. 인가전압에 따라 열화된 피뢰기의 전 누설전류 값이 급격히 증가함을 알 수 있다.

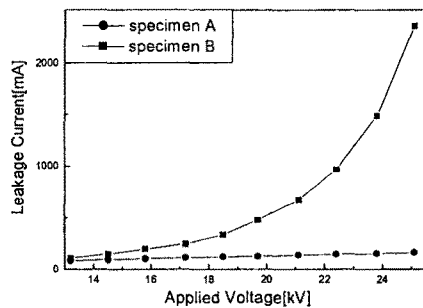


그림 5. 정상상태와 열화된 상태의 피뢰기에서의 인가 전압에 따른 전 누설전류 변화 양상

열화된 피뢰기에서 검출되는 전 누설전류의 3고조파 성분을 분석함으로써 피뢰기의 열화도를 알 수 있다. 다음의 그림 6은 13.2[kV]에서 측정된 정상 피뢰기와 열화된 피뢰기의 전 누설전류를 일반 응용프로그램을 이용하여 FFT를 수행한 결과이다. 열화 피뢰기인 시료 B에서는 3고조파인 180[Hz]성분의 전류가 발생되고 있음을 알 수 있다[5].

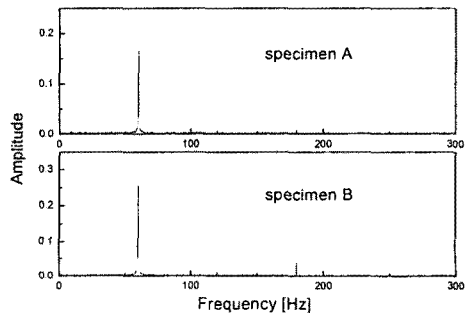


그림 6. FFT를 이용한 전 누설전류의 주파수 분석

그러나 FFT를 이용하여 분석을 수행하였을 경우에는 발생된 전류에서 기본파와 3고조파 전류의 발생 크기의 비율은 알 수 있지만 정확한 크기는 알 수 없다. 따라서 보다 정확한 저항분 누설전류의 크기를 알기 위해서는 다른 방법이 요구되어진다. 본 연구에서는 저항분 누설전류 분석을 위해 DFT 알고리즘을 이용하여 3고조파를 계산하였다.

다음의 그림 7은 DFT를 이용하여 계산한 기본파와 3고조파 누설전류를 인가전압에 따라 나타낸 것이다. 3고조파 누설전류와 기본파 누설전류 모두 인가전압에 따라 급격히 증가함을 알 수 있다. 또한 이때 13.2(kV)에서 계산된 기본파와 3고조파 누설전류의 비율은 약 5:1로 FFT를 이용하여 분석한 비율과 비슷한 결과를 나타내었다. 이렇게 인가전압에 따라 3고조파 누설전류가 크게 증가하는 것은 피뢰기에 비선형 저항 특성을 나타내게 하는 ZnO입자의 경계층이 인가 전압이 증가함에 따라 전위장벽이 낮아지기 때문이다[4].

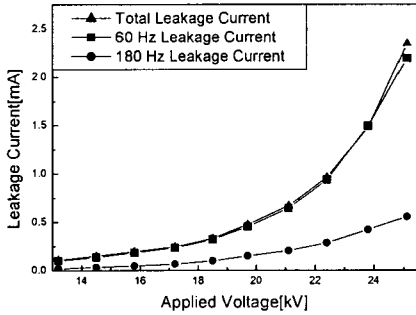


그림 7. DFT를 이용한 인가전압에 따른 누설전류의 크기 분석

그림 8은 누설전류의 변화를 관찰하기 위해 누설전류의 증가율을 인가전압의 증가에 따라 나타낸 것이다. 기본파 전류는 전 누설전류의 증가와 비슷하게 증가하는 양상을 보이지만 3고조파 누설전류는 전 누설전류보다 급격히 증가하는 양상을 보이고 있다. 따라서 인가전압이 증가할 때는 전 누설전류보다 3고조파 전류가 급격히 증가하므로 전 누설전류가 아닌 3고조파를 측정하여 열화정도를 판단하는 것이 중요하다고 여겨진다.

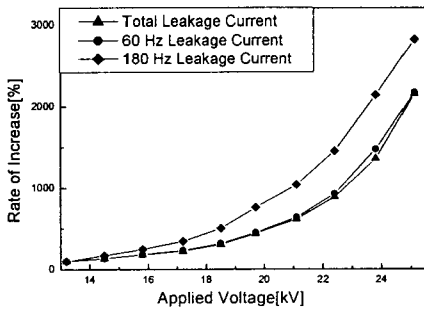


그림 8. 인가전압에 따른 누설전류 증가율의 변화

3. 결 론

피뢰기의 누설전류를 측정하기 위하여 ZCT와 filter, 증폭기로 구성되는 측정부를 연구하고 검출된 신호를 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 선형성을 개선시킨 결과 ZCT는 피뢰기의 누설전류와 같은 미소 전류가 흐르는 설비에서, 측정소자로써 우수한 성능을 갖는다.
- (2) DFT를 이용한 피뢰기 누설전류의 분석을 수행한 결과 FFT와 비슷한 결과를 나타내었고, 누설전류의 주파수에 따른 정확한 크기의 값을 분석할 수 있었다.
- (3) 열화된 피뢰기는 인가전압에 따라 전 누설전류의 크기가 급격히 증가하고 이때 3고조파 성분은 전 누설전류보다 큰 비율로 증가한다. 따라서 3고조파 누설전류를 측정하여 피뢰기의 열화를 분석하고 진단하는 것이 중요하다.

이상의 연구 결과 ZCT와 DFT를 이용하여 피뢰기의 누설전류를 측정하고 분석하는 것이 피뢰기의 열화를 측정하고 분석하는 것에 대해 높은 가능성을 가지고 있음을 알 수 있다. 따라서 피뢰기의 열화단계에 따른 누설전류의 특성을 분석하기 위해서 뇌충격전류, 상시 과전압등으로 피뢰기의 열화단계에 따른 특성을 연구할 예정이다.

[참 고 문 헌]

- [1] Hanxin Zhu, M. R. Raghuvver, "Influence of Representation Model and Voltage Harmonics on Metal Oxide Surge Arrester Diagnostics", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 16, No. 4, 599-603, 2001
- [2] S. Shirakawa et al., "Maintenance of Surge Arrester by a Portable Leakage Current Detector", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 3, 1988
- [3] Hiromu Yoshitama et al., "Investigation of Performance Characteristics of Surge Arresters for Distribution System by Measurement of Leakage Current", ACED, 148-150, 1991
- [4] 길경석 외 2, "뇌충격 전류에 의한 산화아연형 피뢰기 소자의 전기적 특성변화", 전기학회논문지, 48C권, 7호, 550-555, 1999
- [5] 김주용 외 4, "ZnO 피뢰기의 경년변화 특성 분석", 한국전기전자재료학회 춘계학술대회논문집, 383-386, 1999
- [6] 이복희 외 1, "산화아연 피뢰기 소자에 흐르는 저항분 누설전류의 검출 기법", Journal of KIEE, Vol.15, No.3, 2001
- [7] S. Tominaga, Y. Shibuya et al., "Stability and Long Term Degradation of Metal Oxide Surge Arresters", IEEE trans. on Power Apparatus and System, Vol. PAS-99, No. 4, 1548-1556, 1980
- [8] 김민수 외 5, "800kV GIS용 피뢰기 누설전류측정장치 개발에 관한 연구", 대한전기학회 고전압 및 방전용융기술 연구회 춘계학술발표대회 논문집, 31-33, 2002
- [9] K. P. Mardira, M. Darveniza, T. K. Saha, "Search for New Diagnostics for Metal Oxide Surge Arrester", Proceedings of the 6th International Conference on Properties and Application of Dielectric Materials, 947-950, 1999
- [10] 한주섭 외 4, "폴리머 피뢰기의 열화진단 기술", 대한전기학회 고전압 및 방전용융기술 연구회 춘계학술발표대회 논문집, 77-80, 2002