

서지전류가 입사된 ZnO 바리스터에 흐르는 누설전류의 특성

(Characteristics of leakage currents flowing through ZnO varistor exposed to surge currents)

이복희 · 이봉* · 이수봉
(Bok-Hee Lee · Feng Li* · Su-Bong Lee)

Abstract

This paper presents the leakage current characteristics of ZnO varistors exposed to the $8/20\mu\text{s}$ lightning impulse currents as functions of the number of injection and amplitude of impulse currents. The surge simulator system ECAT that can generate $8/20\mu\text{s}$ impulse currents with a peak short-circuit of 5 [kA_p] was used. Leakage currents flowing through ZnO varistors subjected to the $8/20\mu\text{s}$ impulse currents were measured under 60 Hz AC voltages. The trend curves of resistive leakage current of ZnO varistors were analytically calculated.

1. 서 론

최근의 전기·전자공학에서 하드웨어와 소프트웨어 모두 대단히 발전되었으며, 특히 하드웨어측면에서는 정보·통신기기의 반도체 및 집적회로의 적용으로 뇌서지 전압에 대한 내성이 매우 낮아졌으며 신뢰성의 저하와 수명의 단축 등은 문제점으로 대두되었다. 합리적인 뇌서지 보호대책을 확보하기 위해서는 전자기기에 침입하는 뇌서지의 경로와 특성, 뇌서지 피해의 발생메카니즘을 정확하게 분석하고 파악하여야 할 뿐만 아니라 정보·통신설비를 서지로부터 보호하기 위한 효과적인 대책도 있어야 한다. 현재 그 대책으로는 이상전압의 발생원을 완전히 제거하는 방법, 정보·통신기기용 전자 부품의 내전압을 높이는 방법, 전자차폐, 정전차폐하는 방법, 서지 억제 장치를 사용하는 방법 등이 있다. 그러나 이상전압의 발생원을 완전히 제거하는 것은 현재의 기술로는 불가능하고, 전자소자의 내전압을 높이는 일도 어렵고 차폐를 실시하여도 이상전압을 충분히 억제하지 못하고 있는 실정이다.[1] 바리스터는 어느 일정한 횃수의 뇌서지가 인가된 후 누설전류가 급격히 증가하여 결국에는 도통 상태에 이르게 된다. 바리스터의 고장은 보호하고자 하는 회로를 단락시켜 차단기가 동작하면서 정전되며 더욱이는 순간적으로 누설전류가 많이 흘러 바리스터 소자가 타면서 화재를 일으킬 수 있다.

즉, 다시 말하면 바리스터의 성능이 저하되면 동작개시전압이 낮아지고 누설전류가 많이 흐른다.

따라서 본 연구에서는 저전압 전원회로의 보호용 ZnO바리스터에 뇌서지가 입사한 후 ZnO바리스터에 흐르는 누설전류의 특성에 미치는 전기적 영향을 평가하기 위하여 $8/20\mu\text{s}$ 임펄스전류를 바리스터에 인가한 후 상용 주파수전압 220 [V]를 인가하여 바리스터에 흐르는 누설전류를 측정하고, 해석적인 추세곡선을 산출하

였다. 즉, 입사전 임펄스전류의 크기와 횃수에 대한 저항성 누설전류 크기의 관계를 수식화하였다.

2. 측정장치 및 방법

2.1. 측정계의 구성

일반 전원선의 전압을 적용하면 전압변동에 따른 영향이 포함될 수 있으므로 본 실험에는 뇌서지 인가횃수에 의해 열화된 ZnO바리스터에 흐르는 누설전류의 특성을 분석/평가하기 위하여 누설전류측정장치를 설계, 제작하였으며, 그림 1에 실험회로도를 나타내었다.

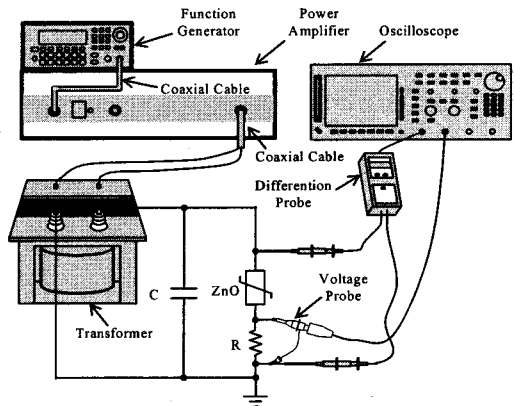


그림 1. ZnO 바리스터의 누설전류측정을 위한 실험 회로

Fig. 1. Test circuit for measuring the leakage current of ZnO varistor

임펄스전류발생장치는 ECAT(Expert Computer-Aided Testing) 시스템을 사용하였다. 누설전류측정회

로는 함수발생기를 이용하여 상용 주파수전압을 발생시켰다. 함수발생기의 출력전압을 전력증폭기와 변압기를 이용하여 220 [V]까지 증폭시켰다. 그리고 변압기 출력측에 노이즈제거용으로 커패시터 C를 병렬로 접속시켰으며, 바리스터에 흐르는 미세한 누설전류는 검출용 저항 R을 이용하여 측정하였다.

2.2. 시료 및 측정방법

본 연구에서는 전원선 뇌서지보호용으로 많이 사용되고 있는 ZnO바리스터를 사용하였으며, 이의 동작개시전압은 430 [V], 임펄스에 대한 제한전압은 1 [kV]이며, 물리적 정수는 표 1과 같다.

표 1. 본 연구에 사용한 산화아연바리스터의 물리적 정수
Table 1. Physical constants of ZnO varistor used in this work

항 목	특성 및 규격
결 정 구 조	육방정계
격 자 상 수	a=3.24 [Å], c=5.19 [Å], c/a=1.60
Zn-O 원자거리	1.95 ~ 1.98 [Å]
밀 도	5.78 [g/cm ³]
용 점	2,000 [°C] 이상
승 화 점	1,720 [°C]
원 자 량	81.38 (Zn:65.38, O:16.00)
이 온 반 경	Zn ²⁺ :0.70 [Å], O ²⁻ :1.32 [Å]
예 너 지 갭	3.4 [eV]
전 자 이 동 도	100 [cm ² /sec]
유 전 율	ε = 8.5

뇌서지의 크기와 인가횟수가 ZnO바리스터에 흐르는 누설전류의 특성에 미치는 전기적 영향을 분석하기 위하여 뇌서지시뮬레이터 ECAT를 이용하여 시료 ZnO바리스터에 임펄스전류를 인가하였다. 다양한 크기의 뇌서지가 인가될 수 있으므로 이를 모의하기 위하여 상온에서 ZnO바리스터 소자 네 개를 선정하여 각각 1.5~4.5 [kA_p]인 8/20μs 임펄스전류를 3분 간격으로 인가한 후 바리스터 양단에 상용 주파수전압 220 [V]를 인가하여 바리스터에 흐르는 누설전류를 측정하였다. 저항성 누설전류를 분리하여 임펄스전류의 인가횟수와 저항성 누설전류의 관계를 수식화하였다.

서지전압의 인가와 제한전압의 측정은 KS C IEC 61643-1 규격의 저압 배전계통의 서지보호장치의 성능 및 시험방법에 따라 수행하였다.[2]

ZnO바리스터의 인가전압과 누설전류의 측정에는 디지털 오실로스코프(BW 500 [MHz], 2.5 [GS/s] 2채널), 수

동형 고전압 프로브(BW 75 [MHz], 감쇠율 1/1000, 최대 입력 DC 20 [kV]), 능동형 FET probe(BW 1 [MHz], 감쇠율 1/10, 최대전압 ±15 [V])를 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

상온에서 임펄스전류에 의하여 열화된 ZnO바리스터에 흐르는 저항성 누설전류의 크기와 임펄스전류 인가횟수의 상호 관계를 측정·분석하였다.

정상 바리스터소자에 상용 주파수전압 220 [V]를 인가하면 주로 용량성 누설전류가 흐르지만 임펄스전류가 입사된 후 저항성 누설전류가 급속히 증가하여 최종적으로 바리스터가 파괴된다. 따라서 바리스터에 인가되는 임펄스전류의 크기에 따라 저항성 누설전류 크기의 변화가 서로 다른 양상을 나타내었다. [3,4]

상온에서 시료 바리스터에 1.5 [kA_p], 8/20μs 임펄스전류를 인가시켰을 때 임펄스전류의 크기에 따른 311 [V_p] 전압에 대한 저항성 누설전류의 크기와 임펄스전류 인가횟수의 상호 관계를 나타내는 추세선의 그래프를 그림 2에 나타내었다.

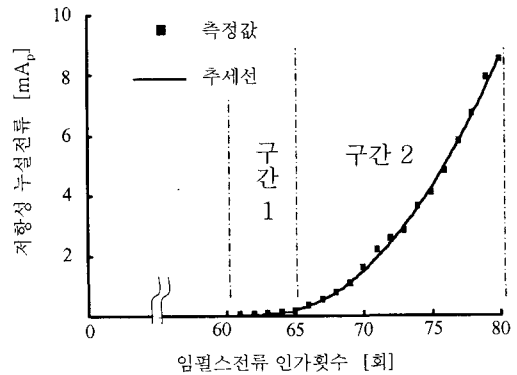


그림 2. 8/20μs, 1.5(kA_p) 임펄스전류의 인가횟수에 따른 저항성 누설전류에 대한 실험값과 추세곡선

Fig. 2. Measured data and trend curve as a function of the number of injection of the 8/20μs, 1.5(kA_p) impulse currents

1.5 [kA_p]인 임펄스전류를 60회까지 인가하였을 경우, 저항성 누설전류는 거의 흐르지 않았지만 61회 인가한 후부터는 저항성 누설전류가 급속히 증가하여 80회 인가하였을 경우 소자가 파괴되었으므로 저항성 누설전류가 급속히 증가하는 구간[61, 79]에서 임펄스전류 인가횟수를 변수 x , 저항성 누설전류를 변수 y 라 하고 x 을 [61, 65]인 구간과 [65, 79]인 구간으로 나누어 y 와 x 의 함수관계식을 식 (1)과 (2)로 나타내었다.

구간 1 (추세선):

$$y_1 = 3.1429x^2 - 3643.5x + 10777 \quad (1)$$

구간 2 (추세선):

$$y_2 = 30.033x^2 - 3795.6x + 120019 \quad (2)$$

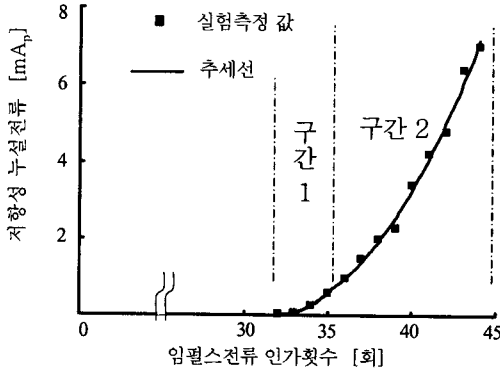


그림 3. 8/20µs, 2.5(kAp) 임펄스전류의 인가횟수에 따른 저항성 누설전류에 대한 실험값과 추세 곡선

Fig. 3. Measured data and trend curve as a function of the number of injection of the 8/20µs, 2.5(kAp) impulse currents

그림 3은 2.5 [kAp], 8/20µs 임펄스전류에 따른 상용주파수 전압 220 [V]에 대한 누설전류의 추세선을 나타내었다. 2.5 [kAp]인 임펄스전류를 인가하였을 경우 31회까지 인가하였을 경우, 저항성 누설전류는 거의 흐르지 않았지만 32회 인가한 후부터는 저항성 누설전류가 급속히 증가하여 45회 인가하였을 경우 소자가 파괴되었으므로 저항성 누설전류가 급속히 증가하는 구간[32, 44]에서 임펄스전류 인가횟수를 변수 x 저항성 누설전류를 변수 y 라 하고 x 를 [32, 35]인 구간과 [36, 44]인 구간으로 나누어 y 와 x 의 함수관계식을 식 (3)과 (4)로 나타내었다.

구간 1 (추세선):

$$y_1 = x^3 - 34x^2 - 905x + 31030 \quad (3)$$

구간 2 (추세선):

$$y_2 = 48.918x^2 - 3138.8x + 50568 \quad (4)$$

3.5 [kAp], 8/20µs 임펄스전류에 따른 상용주파수 전압 220 [V]에 대한 누설전류의 추세선을 그림4에 나타내었다. 3.5 [kAp]를 인가하였을 경우 12회까지 인가하였을 경우, 저항성 누설전류는 거의 흐르지 않았지만 13회 인가한 후부터는 저항성 누설전류가 급속히 증가하여 25회 인가하였을 경우 소자가 파괴되었으므로 저항

성 누설전류가 급속히 증가하는 구간[12, 24]에서 임펄스전류 인가횟수를 변수 x 저항성 누설전류를 변수 y 라 하고 x 를 [12, 14]인 구간과 [15, 24]인 구간으로 나누어 y 와 x 의 함수관계식을 식 (5)과 (6)로 나타내었다.

구간 1 (추세선):

$$y_1 = 5x^2 - 121x + 758 \quad (5)$$

구간 2 (추세선):

$$y_2 = 0.1841x^5 - 15.796x^4 + 535.43x^3 - 8910.1x^2 + 72702x - 232830 \quad (6)$$

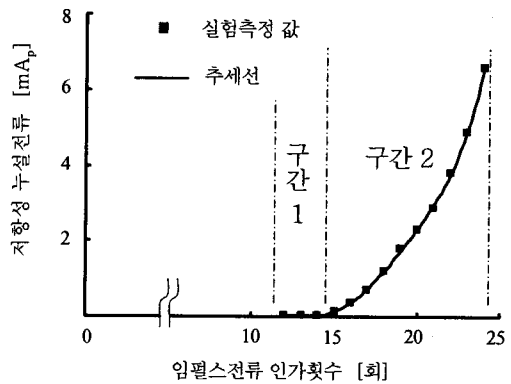


그림 4. 8/20µs, 3.5(kAp) 임펄스전류의 인가횟수에 따른 저항성 누설전류에 대한 실험값과 추세 곡선

Fig. 4. Measured data and trend curve as a function of the number of injection of the 8/20µs, 3.5(kAp) impulse currents

4.5 [kAp], 8/20µs 임펄스전류에 따른 상용주파수 전압 220 [V]에 대한 누설전류의 추세선을 그림 5에 나타내었다. 4.5 [kAp]를 인가하였을 경우 9회까지 인가하였을 경우, 저항성 누설전류는 거의 흐르지 않았지만 10회 인가한 후부터는 저항성 누설전류가 급속히 증가하여 19회 인가하였을 경우 소자가 파괴되었으므로 저항성 누설전류가 급속히 증가하는 구간[9, 18]에서 임펄스전류 인가횟수를 변수 x 저항성 누설전류를 변수 y 라 하고 x 를 [9, 11]인 구간과 [12, 18]인 구간으로 나누어 y 와 x 의 함수관계식을 식 (7)과 (8)로 나타내었다.

구간 1 (추세선):

$$y_1 = 27x^2 - 487x + 2226 \quad (7)$$

구간 2 (추세선):

$$y_2 = 0.6692x^5 - 44.398x^4 + 1171.5x^3 - 15259x^2 + 97861x - 246959 \quad (8)$$

ZnO바리스터에 인가되는 임펄스전류가 클수록 바리스터의 열화가 급속히 진행되므로 임펄스전류의 크기에 따라 추세선의 함수식도 다르게 나타났다.[5]

이 논문은 산업자원부에서 시행하는 대학전력 연구센터육성 및 지원사업에 의해 작성되었습니다.

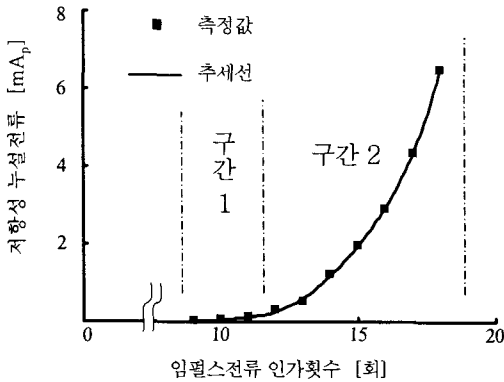


그림 5. 8/20 μ s, 4.5(kA_p) 임펄스전류의 인가횟수에 따른 저항성 누설전류에 대한 실험값과 추세곡선

Fig. 5. Measured data and trend curve as a function of the number of injection of the 8/20 μ s, 4.5(kA_p) impulse currents

참 고 문 헌

- [1] 이복희 · 이승철, "정보통신설비의 뇌보호", 인하대학교 출판부, pp.169~196, 2004.2.
- [2] 한국산업규격, KS C IEC 61643-1, 저압배전계통의 서지보호장치, 제1부 성능 및 시험방법, 한국표준협회, pp.978~985, 1982.
- [3] 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, pp.998~1003, 1998.
- [4] R. A. Sargent, G. L. Dunlop, M. Darveniza, "Effects of multiple impulse currents on the microstructure and electrical properties of metal-oxide varistors", IEEE Trans, Vol.3, No 3, pp.586~592, 1992
- [5] 이 봉, "뇌서지가 저압전원선 보호용 바리스터의 수명에 미치는 영향", 인하대학교 석사학위 논문, pp.45~53, 2006. 2.

4. 결 론

뇌서지전류의 크기와 인가횟수가 저압전원선 서지보호용 ZnO바리스터에 흐르는 누설전류의 특성에 미치는 영향에 대한 실험적 연구를 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 임펄스전류의 인가횟수가 증가함에 따라 ZnO바리스터의 동작개시전압이 낮아지고, 저항성 누설전류는 급속히 증가하였다.

(2) 임펄스전류의 크기에 따른 저항성 누설전류의 추세선 방정식을 산출하여 ZnO바리스터의 전기적 수명을 이론적으로 예측할 수 있는 방법을 제안하였다.

(3) 뇌서지 보호기의 보호특성과 신뢰성은 입사하는 뇌서지전류의 크기와 횟수를 변수로 평가하는 것이 바람직하다.

(4) 경제적인 측면과 서지보호 측면에서 볼 때 SPD의 교환이 쉽도록 설치하여 정기적으로 교체함으로써 서지보호역할을 충분히 하도록 하여야 한다.