

8/20 μ s 임펄스전류의 크기와 인가횟수가 ZnO 바리스터의 수명에 미치는 영향

(Effects of injected number and amplitude of 8/20 μ s impulse current on the life of ZnO varistor)

이복희 · 이봉* · 이수봉 · 강성만

(B. H. Lee · B. Lee* · S. B. Lee · S. M. Kang)

Abstract

This paper presents leakage current characteristics as a function of injected number and magnitude of impulse current, when 8/20 μ s lightning impulse current is injected to ZnO varistor. The life of ZnO varistor against 8/20 μ s lightning impulse current was evaluated. The injected number of the test current to breakdown was inversely proportional to the amplitude of impulse current.

1. 서 론

최근 절연강도가 낮은 반도체 소자를 사용한 전자기에 뇌서지의 침입을 방지하기 위하여 서지보호소자로 ZnO 바리스터가 많이 사용되고 있다. 저전압 ZnO 바리스터는 전류용량이 제한이 있으나 제한전압이 낮은 장점이 있으며, 비선형성이 매우 우수하여 운전상태에서는 거의 누설전류가 흐르지 않으므로 서지흡수소자로 가장 많이 사용된다.[1]

또한 저전압 ZnO 바리스터의 비선형성이 우수해야 할 뿐만 아니라 수명을 잘 파악하는 것도 매우 중요하다. 기상청에서 관측한 낙뢰의 발생빈도에 대한 1995년~1998년 사이의 통계적 분석 결과에 의하면 서해상과 서해안 지방에서 높은 발생빈도를 보이고 있으며, 경기 북부와 태안반도 일원에서 4,000회의 비교적 높은 발생빈도를 보이고 있다.[2] 이와 같이 빈번한 낙뢰발생으로 인하여 전원선에 다양한 크기의 뇌서지가 침입될 수 있다.

따라서 본 연구에서는 뇌서지가 저전압 전원회로의 보호용 ZnO 바리스터의 전기적 수명에 미치는 영향을 평가하기 위하여 8/20 μ s 임펄스전류를 바리스터에 인가한 후 상용 주파수전압 220 [V]를 인가하여 바리스터에 흐르는 누설전류를 측정/분석하였다. 또한 임펄스전류의 인가횟수에 따른 용량성 누설전류와 저항성 누설전류를 측정하고 분석하였다. 임펄스전류의 크기에 따른 파괴되기까지의 인가횟수를 측정하여 ZnO 바리스터의 수명을 평가하였다.

2. 측정장치 및 방법

2.1. 측정계의 구성

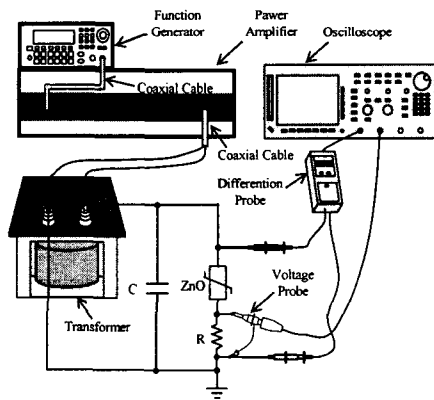


그림 1. ZnO 바리스터의 누설전류측정을 위한 실험 회로

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

본 실험에는 서지 인가횟수에 따른 ZnO 바리스터 소자에 흐르는 누설전류의 특성을 분석/평가하기 위하여 임펄스전류발생장치와 누설전류측정장치를 설계, 제작하였으며, 그림 1에 실험회로도 나타내었다.

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

정회로는 함수발생기를 이용하여 상용 주파수전압을 발생시켰으며, 함수발생기의 출력전압을 전력증폭기와 변압기를 이용하여 220 [V]까지 증폭시켰으며, 함수발생기의 출력전력은 전력증폭기를 이용하여 증폭시켰다. 그리고 변압기 출력 측에 노이즈제거용으로 커패시터 C 을 병렬로 접속시켰으며, 바리스터에 흐르는 미세한 누설전류는 검출용 저항 R 을 이용하여 측정하였다.

ZnO 바리스터의 인가전압과 누설전류의 측정에는 디지털 오실로스코프(BW 500 [MHz], 2.5 [GS/s] 2채널), 수동형 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.

2.2. 측정 방법

바리스터 소자에는 다양한 크기의 뇌 서지가 인가될 수 있으므로 이를 모의하기 위하여 상온에서 뇌 임펄스 전류발생장치를 이용하여 바리스터 소자 네 개를 선정하여 각각 2 [kA_p], 3 [kA_p], 4 [kA_p], 5 [kA_p]인 8/20 [μ s] 전류를 3분 간격으로 인가하는 동시에 매번 임펄스 전류를 인가한 후 바리스터 양단에 상용 주파수전압 220 [V]를 인가하여 바리스터에 흐르는 누설전류를 검출용 저항 R 을 이용하여 측정하였다. 총 누설전류로부터 용량성 누설전류와 저항성 누설전류를 분리하여 임펄스전류의 인가횟수에 따른 특성을 조사하였다. 또한 임펄스전류 크기별 파괴되기까지의 인가횟수를 평가하였다.

3. 결과 및 고찰

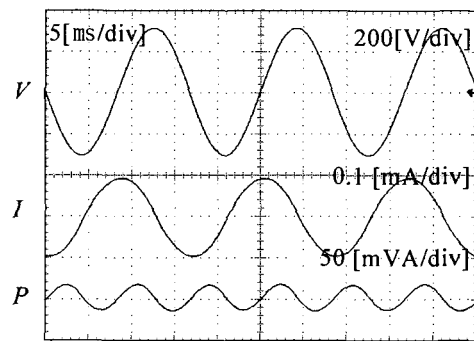
3.1 누설전류 파형

상온에서 정상 바리스터 소자와 임펄스전류를 인가시킨 바리스터 소자에 각각 상용 주파수전압 220 [V]를 인가하였을 때 바리스터에 흐르는 누설전류의 파형 예를 그림 2에서 나타내었다. 그림 2(a) 정상 소자에 상용 주파수전압 220[V]를 인가하였을 때의 인가전압, 총 누설전류 및 소비전력에 대한 파형이다. 총 누설전류가 인가전압보다 위상이 거의 90도 앞선 것을 확인할 수 있다. 이는 ZnO 소자의 전기적 특성에 대한 모델등가회로를 이용하면 설명이 가능하다. ZnO 소자의 등가회로 일 경우, 일반적으로 커패시터와 비선형저항의 병렬회로로 표현된다. 그러므로 ZnO 소자에 흐르는 미세한 누설전류는 식 (1)과 같이 인가전압보다

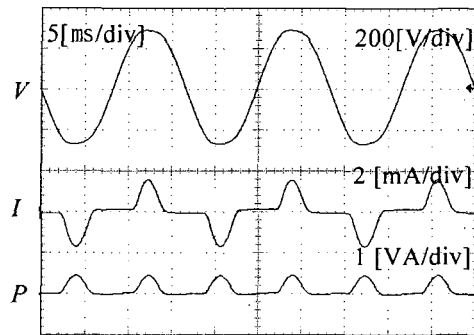
위상이 90도 앞선 정현파인 용량성 누설전류와 인가전압과 동위상인 비정현파의 저항성 누설전류의 합으로 이루어져 있으며, 동작개시전압 이하에서는 산화야연 소자는 이론적으로 무한대의 저항을 가지므로 대부분 용량성 누설전류가 흐르므로 총 누설전류가 인가전압보다 위상이 거의 90도 앞선다.[3]

$$I_T = I_r + I_c \quad (1)$$

또한 총 누설전류는 정·부 대칭의 양방향성 특성을 보이고 있다.



(a) 정상 소자



(b) 8/20 [μ s] 임펄스전류를 인가한 소자

그림 2. 인가전압, ZnO 소자의 누설전류 및 전력 파형
Fig 2. Waveforms of the applied voltage, leakage current flowing through ZnO block and power loss

그림 2(b)는 바리스터 소자에 8/20 μ s, 3 [kA_p] 임펄스전류를 37회 인가한 시료에 상용 주파수전압 220 [V]를 인가하였을 때 흐르는 누설전류가 1 [mA_p]이상인 경우를 나타내었다. 이때 용량성 누설전류보다 저항성 누설전류가 더 많이 흐르며 동시에 파형이 비대칭적으로 나타났다. 이는 입계층의 경계면에서 각각의 전위장벽이 독립적으로 변

형되기 때문이다. 임펄스전류가 흐르는 동안 역바이어스와 순바이어스의 전위장벽의 높이는 변형된 것을 알 수 있다.

또한 손실 전력의 측정은 오실로스코프의 연산 기능을 이용하여 인가전압과 누설전류의 곱으로부터 산출할 수 있으며, 산출된 전력은 저항성 누설전류에 비례하므로 임펄스전류의 인가횟수가 증가함에 따라 증가하였다.

3.2 뇌 임펄스전류에 따른 누설전류의 변화

상온에서 임펄스전류가 인가된 바리스터 소자에 상용 주파수전압 220 [V]를 인가하여 바리스터에 1 [mA_p]의 누설전류가 흐르는 경우, 임펄스전류의 크기와 뇌 임펄스전류 인가횟수의 관계를 그림 3에서 나타내었다.

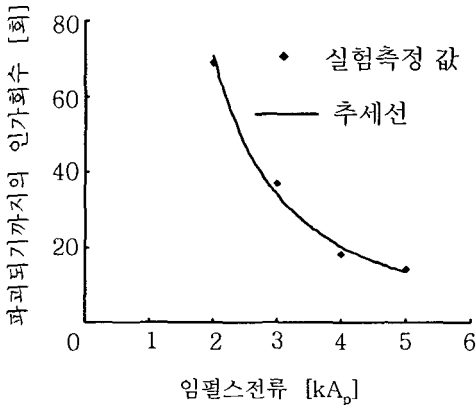


그림 3 임펄스전류의 크기와 파괴되기까지의 인가횟수
Fig. 3. Injected number to breakdown as a function of amplitude of impulse current

바리스터 소자에 상용 주파수전압 220 [V]를 인가하였을 때 바리스터에 1 [mA_p]의 누설전류가 흐르는 경우, 임펄스전류의 인가횟수를 y ; 뇌 임펄스전류의 크기를 x 라고 하면 그림 3에서의 추세선방정식을 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$y = 248.14x^{-1.81} \quad (2)$$

정상 바리스터소자에 상용 주파수전압 220 [V]를 인가하면 그림 1(a)에서와 같이 주로 용량성 누설전류가 흐르지만 그림 3에서와 같이 정상 바리스터 소자에 충분한 횟수의 뇌 임펄스전류를 인가하면 어느 한순간부터 저항성 누설전류가 급속히 증가하여 용량성 누설전류보다 더 많이 흐르게 되며 최종적으로 소자가 파괴된

다. 그러나 바리스터에 인가되는 서지전류의 크기에 따라 저항성 누설전류 크기의 변화가 서로 다른 양상을 나타낸다. 즉, 2 [kA_p]인 임펄스전류를 인가할 경우, 61회 인가되면 저항성 누설전류가 급속히 증가하며, 64회 인가되면 용량성 누설전류의 피크 값보다 저항성 누설전류의 피크 값이 더 커졌으며, 69회 인가되었을 경우 저항성 누설전류가 1 [mA_p] 이상이 흘렀다; 3 [kA_p]인 임펄스전류를 인가할 경우, 32회 인가되면 저항성 누설전류가 급속히 증가하며, 34회 인가되면 용량성 누설전류의 피크 값보다 저항성 누설전류의 피크 값이 더 커졌으며, 37회 인가되었을 경우 저항성 누설전류가 1 [mA_p] 이상이 흘렀다; 4 [kA_p]인 임펄스전류를 인가할 경우, 13회 인가되면 저항성 누설전류가 급속히 증가하며, 15회 인가되면 용량성 누설전류의 피크 값보다 저항성 누설전류의 피크 값이 더 커졌으며, 18회 인가되었을 경우 저항성 누설전류가 1 [mA_p] 이상이 흘렀다. 5 [kA_p]인 임펄스전류를 인가할 경우, 9회 인가되면 저항성 누설전류가 급속히 증가하며, 11회 인가되면 용량성 누설전류의 피크 값보다 저항성 누설전류의 피크 값이 더 커졌으며 14회 인가되었을 경우, 저항성 누설전류가 1 [mA_p] 이상이 흘렀다.

이와 반면, 용량성 누설전류는 뇌 임펄스 전류의 인가 전후 거의 변화가 없다. 예를 들면 3 [kA_p]인 임펄스전류를 바리스터 소자에 인가하였을 경우 용량성 누설전류와 인가횟수와의 관계를 그림 4에서 나타내었다.

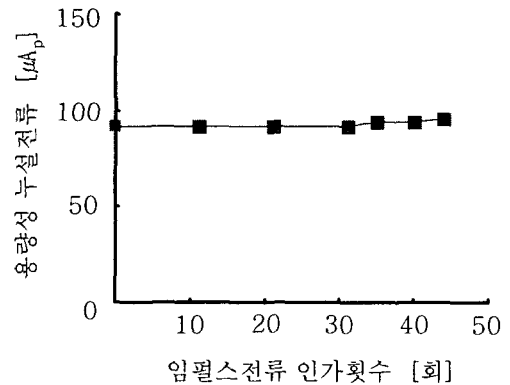


그림 4. I_c-N 특성곡선
Fig. 4. I_c-N characteristic curves

3.3 임펄스전류에 대한 ZnO 바리스터 소자의 특성

본 연구에서 사용한 바리스터 소자의 실험영역에서의 $I-V$ 특성곡선을 그림 5에 나타내었다.

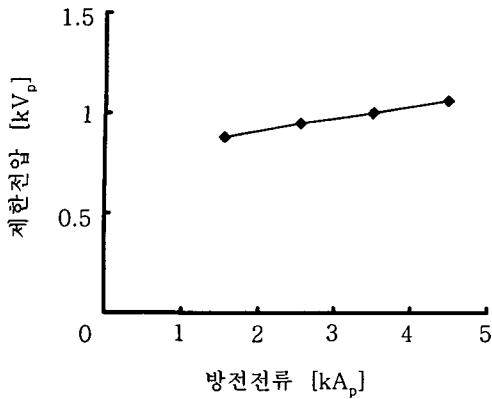


그림 5. ZnO 바리스터 소자의 $I-V$ 특성곡선
Fig. 5. $I-V$ Curve of ZnO varistor stressed by impulse current

되 임펄스전류를 ZnO 바리스터 소자에 인가하였을 경우 나타나는 전형적인 제한전압과 방전전류 파형을 그림 6에 나타내었다.

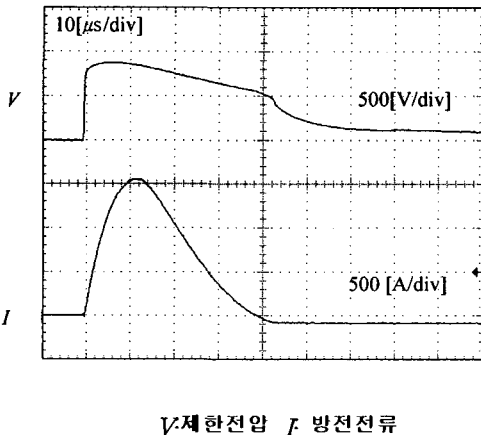


그림 6. ZnO 바리스터 소자의 제한전압과 전류파형
Fig. 6. Waveforms of limited voltage and current of ZnO varistor

그림 6에서 방전전류와 제한전압의 곱이 전력이 되고 전력을 시간에 대해 적분하여 ZnO 바리스터 소자에 흡수된 에너지를 구할 수 있다. 즉, 임펄스전류가 소자에 인가되어 흡수되는 에너지는 다음 식 (3)과 같이 전력의 시간에 대한 적분함수로 표현이 가능하다.

$$w = \int_0^{\infty} v i dt \quad [J] \quad (3)$$

여기서 v 는 제한전압, i 는 방전전류, w 는 인가 에너지이다.[4]

식 (3)을 이용하여 크기가 각각 2 [kA_p], 3 [kA_p], 4 [kA_p], 5 [kA_p]인 8/20 [μs] 임펄스전류를 바리스터 소자에 인가하였을 때 바리스터소자의 흡수 에너지를 산출할 수 있다. 단펄스전류를 바리스터에 인가하였을 경우, 바리스터의 흡수 에너지와 임펄스전류 크기의 관계를 그림 7에서 나타내었다.

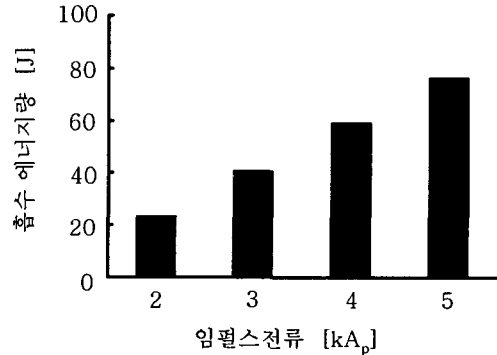


그림 7. 흡수 에너지와 임펄스전류
Fig. 7. Energy and impulse current

그림 8에서는 상용 주파수전압 220 [V]를 바리스터 소자에 인가하였을 때 누설전류가 1[mA_p] 흐르게 될 때까지 임펄스전류를 인가한 후의 바리스터 소자가 흡수한 총 에너지 양과 임펄스전류 크기의 관계를 나타내었다.

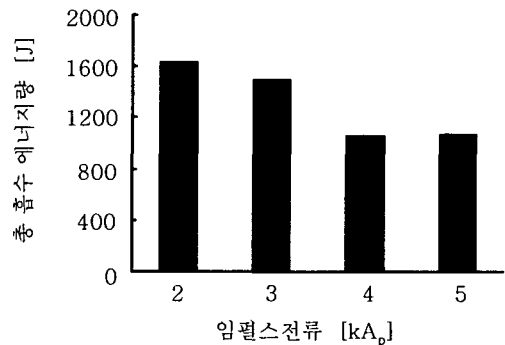


그림 8. 총 흡수 에너지와 임펄스전류
Fig. 8. Total energy and impulse current

그림 8에서와 같이 보다시피 바리스터 소자가 열화 되기까지 인가한 임펄스전류의 크기가 클수록 바리스터에 흡수된 전체 서지 에너지는 적게 나타났다. 즉 다 시 말하면 바리스터 소자의 열화는 바리스터 소자가 흡수한 전체 서지 에너지보다 서지전류의 크기가 크게 영향을 미치는 것으로 보인다.

4. 결 론

서지전압이 서지보호용 ZnO 바리스터의 전기적 수명에 미치는 영향에 대해 실험적 연구를 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 뇌서지가 인가된 ZnO 바리스터에 흐르는 저항성 누설전류가 뇌서지의 인가횟수가 증가할수록 급격히 증가하였다.

(2) 뇌서지에 의한 ZnO 바리스터 소자의 열화는 흡수된 전체 서지에너지보다도 서지의 크기에 크게 기인한다.

이 논문은 산업자원부에서 시행하는 대학전력 연구센터육성 및 지원사업에 의해 작성되었습니다.

참 고 문 헌

- [1] 이복희 · 이승철, "정보통신설비의 뇌보호", 인하대학교 출판부, pp.116, 2004.2.
- [2] 이복희 · 이승철, "정보통신설비의 뇌보호", 인하대학교 출판부, pp.33~37, 2004.2.
- [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] L. R. Tumma, "The Effects of Multiple Impulse Currents on Zinc Oxide Arresters", Doctorial dissertation, University of Queensland, 1994