

## ZnO 바리스터에 흐르는 누설전류의 주파수 의존성

이복희, 이봉\*, 강성만  
인하대학교 전기공학과

### Frequency dependences of leakage currents flowing through ZnO varistor

Bok-Hee Lee, Bong Lee\*, Sung-Man Kang  
Dept. of Electrical Engineering, Inha University

**Abstract** - This paper presents the frequency - dependent characteristics of leakage currents flowing through ZnO varistor. The leakage current - voltage ( $V-I$ ) characteristic curves of the commercial ZnO varistor were measured. The resistive leakage current was increased with increasing the magnitude and frequency of the applied voltage in the low conduction region. The power losses of ZnO varistor increase as the frequency of applied voltage increases, because of the dielectric loss related to the frequency of the test voltage.

### 1. 서 론

최근 전자기술의 진보에 따라 초소형 반도체 소자가 전자기기에 많이 사용되고 있다. 그러나 반도체 소자는 소형, 고성능, 에너지 절감 등의 특징을 갖는 반면, 과도적 이상전압에 대해서 취약하므로 이러한 장해를 제거하기 위하여 사용되는 것이 서지 흡수기로서 ZnO 소자가 많이 사용되고 있다[1]. ZnO 소자는 미량의 불순물을 첨가하여 일련의 세라믹 제조법으로 만들어진 세라믹 소자로서 전압-전류( $V-I$ ) 특성이 뛰어난 비선형성에 기인하여 우수한 서지흡수능력이 있다[2]. 또한 최근의 건물자동화, 사무자동화, 정보통신용 전원으로 무정전 전원공급 시스템이 급증하고 있으며, 무정전 전원 공급시스템에는 인버터를 이용하는데, 인버터의 출력 파형에는 기본파와 성분외에 고조파 성분이 함유되어 전원전압 파형을 왜곡시킨다.

따라서 본 논문에서는 전원 전압에 포함된 고조파가 전원회로보호용 ZnO 바리스터의 전기적 특성에 미치는 영향을 평가하기 위하여 20~540 [Hz]의 주파수 범위에서 서지보호용 ZnO 소자에 흐르는 누설전류를 측정하였다. 또한 인가전압의 주파수에 따른 저항성, 용량성 누설전류를 측정하고, ZnO 소자에서 소비되는 전력을 분석한 결과를 기술하였다.

### 2. 실 험

#### 2.1 측정계의 구성

본 실험에서 적용한 바리스터는 동작개시저압이 430 [V]이다. 여기서 바리스터의 동작개시저압이란 바리스터에 1 [mA]의 전류가 흐를 때의 단자전압을 의미한다. 그럼 1은 실험회로를 나타내었다. 핵수발생기를 이용하여 20~540 [Hz]의 가변주파수전압을 발생시킨다. 또한, 핵수발생기의 출력전압을 출력전력이 40 [W]인 전력증폭기와 전압비가 220 [V]/6.6 [kV]인 변압기를 이용하여 최대로 1 [kV<sub>p</sub>]로 증폭시켰으며, 노이즈제거용으로 변압기 출력측에 커패시터  $C$ 를 병렬로 접속시켰다.

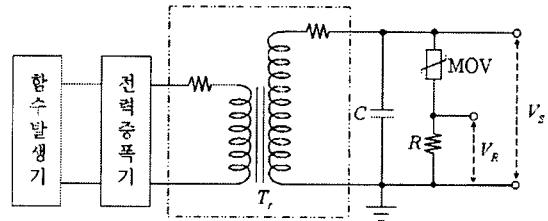


그림 1. 실험 회로  
Fig. 1. Experimental circuit

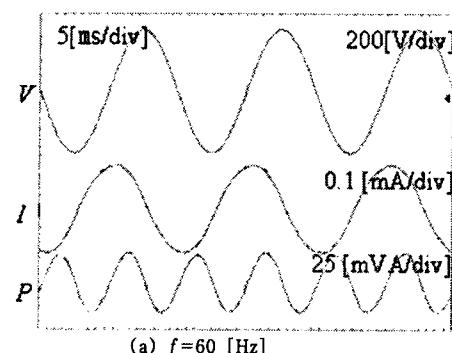
ZnO 소자의 단자전압과 누설전류의 측정을 위하여 디지털 오실로스코프 (BW 500 [MHz], 2.5 [GS/s] 2채널), 고전압 차동프로브 (BW 25 [MHz], 감쇠율 1/1000, 최대 입력 AC 4.4 [kV]), 능동형 FET 프로브 (BW 1 [MHz], 감쇠율 1/10, 최대전압 ±15 [V])를 사용하였다.

#### 2.2 측정 방법

상온에서 220 [V]상용전원전압의 전압변동률과 바리스터 소자 자체의 동작전압의 허용범위를 고려하여 가변주파수 정현파전압을 정상상태인 ZnO 바리스터 양단에 20~540 [Hz]범위, 240~400 [V<sub>s</sub>]사이의 전압을 인가하고, ZnO 바리스터에 흐르는 누설전류는 검출용저항  $R$ 을 이용하여 측정하였다. 전체 누설전류로부터 용량성 누설전류와 저항성 누설전류를 측정/분리하여 주파수와 누설전류, 인가전압 간의 상호 관계를 조사하였다. 또한 오실로스코프의 연산기능을 이용하여 인가전압과 누설전류의 곱으로 손실 전력을 측정하여 손실 전력과 인가전압, 주파수 간의 상호 관계를 조사하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 누설전류의 파형



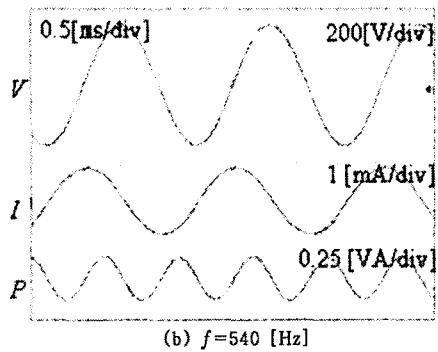


그림 2. 인가전압, 누설전류와 전력파형

Fig 2. Waveforms of the applied voltage, leakage current and power at different frequencies

상온에서 320 [V<sub>p</sub>]인 일정한 전압에서 주파수를 변화시켰을 경우, 누설전류의 파형을 그림 2에 나타낸다. 누설전류의 특성을 살펴보면 주파수를 증가시킴에 따라 전체 누설전류가 크게 증가하였다. 손실 전력의 파형이 인가전압과 누설전류의 곱으로 표현되므로 인가전압의 2배의 주파수로 나타난다. 또한 전력파형과 동시에 오실로스코프의 연산기능에 의해 평균 전력이 숫자로 표기되므로 간편하게 손실 전력을 산출할 수 있다.

### 3.2 저항성 누설전류

그림 3과 그림 4에는 상온에서 주파수를 20-540 [Hz] 범위에서, 전압은 240-400 [V<sub>p</sub>] 사이에서 변화시켰을 때의 ZnO 바리스터에 흐르는 저항성 누설전류-인가전압 ( $I_r - V$ ) 특성과 저항성 누설전류-주파수 ( $I_r - f$ ) 특성을 나타내었다. 측정된 저항성 누설전류와 인가전압은 각각 피아크 값으로 나타내었다.

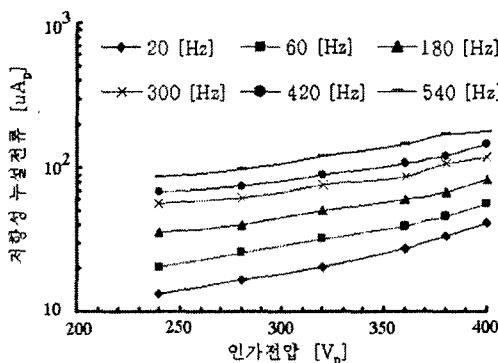


그림 3.  $I_r - V$  특성곡선

Fig. 3.  $I_r - V$  characteristic curves

그림 3에서 저항성 누설전류가 일정한 주파수에서 전압을 증가시킴에 따라 점차 증가하였다. 그림 4에서 저항성 누설전류가 일정한 전압에서 주파수를 증가시킴에 따라 거의 선형적으로 증가하였다. 그리고 바리스터의 전기적 특성을 커퍼레이션  $C$ 와 비선형 저항  $R$ 의 병렬등가회로로 나타내면 다음의 식 (1)을 적용하여  $R - V$  특성과  $R - f$  특성을 평가할 수 있다.

$$R = V_{max}/i_r = V_{max} \quad (1)$$

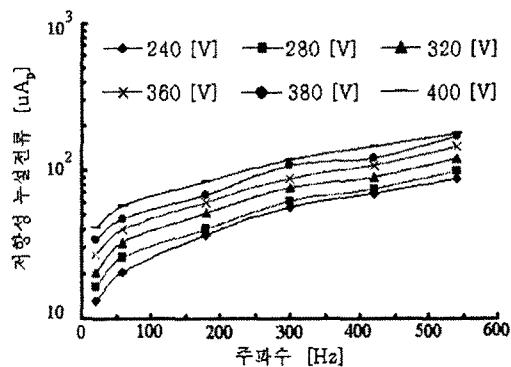


그림 4.  $I_r - f$  특성곡선

Fig. 4.  $I_r - f$  characteristic curves

측정된 그림 3과 그림 4의 데이터로부터 식 (1)에 의해 계산한 결과 바리스터의 전기저항  $R$ 은 인가전압과 주파수에 의존성이 있음을 알 수 있다.

### 3.3 용량성 누설전류

상온에서 주파수를 20-540 [Hz] 범위에서, 전압은 240-400 [V<sub>p</sub>] 사이에서 변화시켰을 때 용량성 누설전류-인가전압 ( $I_c - V$ ) 특성과 용량성 누설전류-인가전압 ( $I_c - f$ ) 특성의 측정결과를 각각 그림 5와 그림 6에 나타내었다.

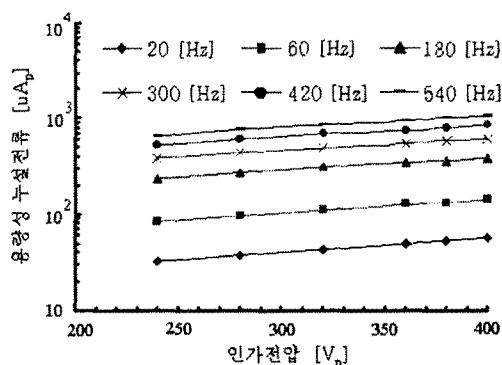


그림 5.  $I_c - V$  특성곡선

Fig. 5.  $I_c - V$  characteristic curves

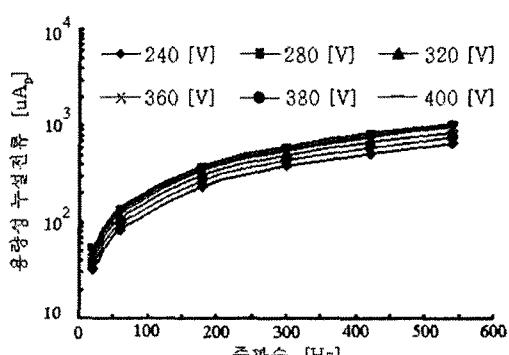


그림 6.  $I_c - f$  특성곡선

Fig. 6.  $I_c - f$  characteristic curves

그림 5에서 용량성 누설전류가 일정한 주파수에서 전압을 증가시킴에 따라 증가하였다. 또한 그림 6에서 용량성 누설전류가 일정한 전압에서 주파수를 증가시킴에 따라 증가하였다. 그리고 ZnO 소자의 전기적 특성을 커페시터  $C$ 와 비선형 저항  $R$ 의 병렬등가회로로 나타내면 다음의 식 (2)을 적용하여  $C-V$  특성과  $C-f$  특성을 평가할 수 있다.

$$C = i_v / 2\pi f V_{max} \quad (2)$$

측정된 그림 5와 그림 6의 데이터로부터 식 (2)에 의해 계산한 결과 피뢰기 소자의 정전용량은 주파수에 의존성이 있으나 인가전압에는 상관없는 것으로 확인되었다.

#### 3.4 손실 전력

상온에서 주파수를 20~540 [Hz], 전압은 240~400 [V<sub>p</sub>] 범위에서 변화시켰을 때 손실 전력-인가전압( $P-V$ )특성과 손실 전력-주파수( $P-f$ )특성을 각각 그림 7와 그림 8에 나타내었다.

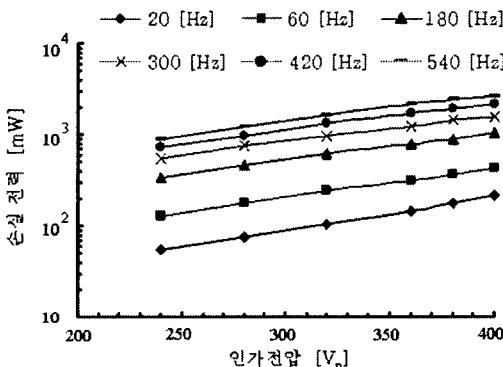


그림 7.  $P-V$  특성곡선

Fig. 7.  $P-V$  characteristic curves

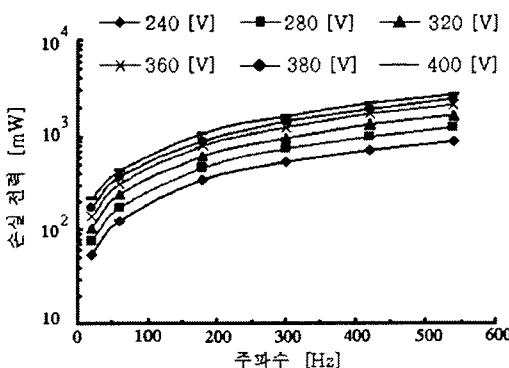


그림 8.  $P-f$  특성곡선

Fig. 8.  $P-f$  characteristic curves

손실 전력의 측정은 식 (3)와 같이 오실로스코프의 연산기능을 이용하여 인가전압과 누설전류의 곱으로부터 산출할 수 있다. 그림 7에서 손실 전력은 일정한 주파수에서 전압을 증가시킴에 따라 증가하였다.

$$P = V \times I \quad (3)$$

그림 8에서 손실 전력은 일정한 전압에서 주파수를 증가시킴에 따라 증가하였다. 즉, ZnO 소자 내부에서의 소비전력은 전압과 주파수의 변화에 의존성이 강하다. 전원전압에 포함되어 있는 고조파 성분에 의해서 ZnO 소자에는 보다 큰 누설전류가 흐르게 된다. 따라서 전원전압의 고조파 성분에 의해서 ZnO 소자의 열화가 가속화될 수도 있다.

#### 4. 결 론

전원전압에 함유된 고조파가 ZnO 바리스터의 전기적 특성에 미치는 영향을 평가하기 위한 실험적 연구를 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 바리스터의 저항성 누설전류, 용량성 누설전류, 손실 전력은 주파수 의존성이 크게 나타났으며, 주파수가 증가함에 따라 손실은 더 커졌다.

(2) 바리스터의 전기저항은 전압과 주파수의 변화에 의존성이 있으며, 정전용량은 주파수에 따라 약간 변화하지만 전압의 변화에는 거의 의존성이 없다. 동작개시 전압 이하에서는 주파수가 증가함에 따라 용량성 누설전류가 저항성 누설전류보다 상대적으로 크게 증가하였다.

(3) 주파수가 증가함에 따라 누설전류는 증가하므로 SPD를 설치할 경우, 고조파가 적은 곳에 ZnO 바리스터를 설치하는 것이 바람직하다.

이 논문은 산업자원부에서 시행하는 대학전력 연구센터육성 및 지원 사업에 의해 작성되었습니다.

#### [참 고 문 헌]

- [1] 김동배, “저압 ZnO 바리스터의 전기적 특성 및 응용”, 전기전자재료, 제11권, PP. 631~636, 1998.7
- [2] 谷川 明, 廣田 真人, 阪口 武彦, 山下 嘉久, 吉川 進三, “種々の添加物を用いたZnOバリストの課電劣化の評価”, T.IEE Japan, Vol. 118-A, No. 2, 1998