ZnO 계열의 금속산화물 바리스터의 단락 방지용 소자 적용에 따른 제한전압 특성 분석

정태훈, 최성욱*, 정제선**, 김재철
숭실대학교, *삼현전자통신(주), **한국수자원공사

Analysis of characteristics for clamping voltage following the application of element for preventing the short circuit of Metal Oxide Varistors for ZnO

Tae-hoon Jeong, Sung-Wook, Choi*, Je-seon Jeong**, Jae-chul Kim

Abstract - Recently, the natural environment changes drastically, and the frequency of occurrence for lightning has gradually been increased. Such lightning delivers high volume of energy along the power line and communication line to the equipment in use. The high volume of energy arising from the lightning surge develops in fast velocity to destroy the facilities in power source and many other facilities in operation in sequential destruction with vast energy. In this thesis, the analysis on the change of clamping voltage characteristics by the contact resistance and lead inductance by using several case studies through the application of element for preventing the short circuit of Metal Oxide Varistor for ZnO.

1. 서 론

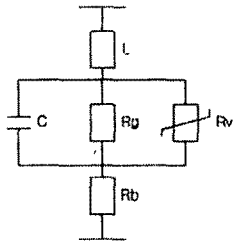
최근 전기장비 및 통신장비의 급격한 보급으로 인해 낙뢰에 의해 발생된 고용량의 surge 및 계전기 동작에 의한 스위칭 surge에 의한 전기전자장비의 소손/손상 빈도가 점차적으로 증가하고 있다. 특히 낙뢰에 의해 발생된 고용량의 에너지는 전원선 및 통신선을 타고 부하(사용장비)로 에너지가 전달된다. 이러한 고용량 에너지는 빠른 속도로 진행하여 전원 및 통신 설비를 파괴시키고 운용중인 많은 전기설비를 순차적으로 파괴시키는 엄청난 힘을 지녔다. 또한 산업 현장에서는 자동화된 제어시스템 구축으로 인해 여러 계전장치의 스위칭 동작에 의해 발생된 내부적인 surge도 무시할 수 없는 대상이 되었다. 그러나 낙뢰의 경우 큰 에너지 레벨에 의한 순간적인 설비의 소손을 초래하지만, 내부 스위칭으로 발생되는 서지의 경우 장기적으로 설비에 과도특성을 제공함으로써 제품내부 소자의 열화특성으로 surge 보호소자의 소손을 야기한다.
본 논문에서 사용한 금속산화물 바리스터 소자는 EPCOS의 Strap type 40KA내량의 275Vrms 바리스터를 표준으로 사용하였다. 사용전원이 인가된 상태에서 자체내량 및 장기적인 스트레스에 의해 소자 소손 시 발생되는 단락루프를 차단하기 위한 소자로 4종류의 단락방지용 퓨즈를 사용하였다. Bussmann사의 TVSS Fuse Series를 이용한 Clip type과 Axial lead type을 적용하고, 바리스터 소손 시 발생되는 열을 감지하여 단락루프를 차단하는 Thermal cut-off fuse type과 Thermal pellet을 이용하여 바리스터 블록에 contact된 형태를 이용한 이상의 5종에 대한 특성시험을 실시하였다. 시험에 적용한 규격은 IEC 61643 Class Ⅱ (CW : Combination Wave)에서 IEEE 62.41에 해당하는 Cat C1(6KV/3KA) 및 Cat C3(20KV/10KA)에 대한 특성을 단계별로 제한전압을 측정하여 도시하였다. 또한 리드 인덕턴스의 값을 기존의 60Hz와 uS단위로 인가되는 CW파형의 특성을 고려하여 1MHz에서 각각 측정하였다. 사용 장비로는 Surge simulator NoiseKen/LSS-6130, Thermo KeyTek/ECAT E521과 Oscilloscope Tektronix/TDS2024 , High voltage probe Tektronix/P6015를 사용하여 제한전압특성을 분석하였다.

2. 본 론

ZnO 계열의 금속산화물 바리스터는 바리스터 효과에 의해 우수한 전압제한 특성을 가지고 있다. ZnO의 입자는 매우 높은 전기전도도를 가지고 있으나 입계면에 존재하는 여러 가지 산화물(Bi, Co, Mn, Ni, Sb etc)은 높은 저항을 갖는다. 금속산화물 바리스터의 전기적 특성의 경우 미세 바리스터 grain이 직/병렬로 연결되어 나타난다. 바리스터는 P-N접합 영역에서 에너지를 제어하는 반도체 소자와는 달리 고용량의 에너지를 직/병렬로 연결된 미세 바리스터에서 소비하거나 외부로 연결된 접지로 우회시키는 특성을 지니고 있다. 이러한 특성으로 인해 바리스터는 상용교류 전원용 설비를 보호하기 위한 소자로 많이 사용되고 있다. 그러나 금속산화물 바리스터의 경우 장기적인 스트레스에 의한 누설전류량 증가에 따른 파괴 특성을 보이고 흡수 또는 제어할 수 있는 내량 이상의 서지가 유입되어 바리스터가 소손 될 때 일반적으로 단락루프를 제공하기 때문에 사용전원이 바리스터 양단에 인가되어 있는 경우 소손된 바리스터가 일종의 저항 부하가 되어 화재의 위험성이 발생되는 치명적인 단점을 가지고 있다. 그리하여 본 논문에서는 서론에서 언급한 EPCOS의 Strap type 40KA내량의 275 Vrms 금속산화물 바리스터의 제한전압 특성을 기준으로 동일 금속산화물 바리스터에 단락루프 제거용 Fuse 4종 적용 시 특성에 대한 분석을 하였다.

2.1 금속산화물 바리스터의 등가회로

2.1.1 등가해석

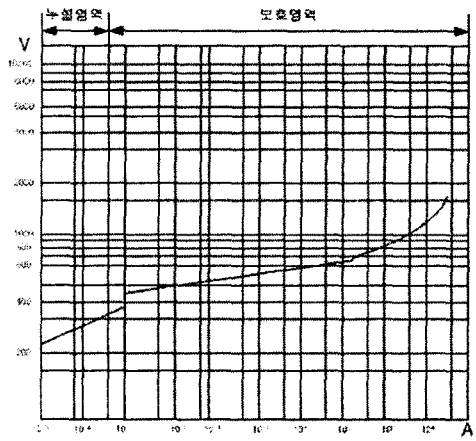


<그림 1> 금속산화물 바리스터의 등가회로

L:lead inductance, C:바리스터 내부 Capacitance, Rg:ZnO grain 저항(1~10Ω), Rv:이상적인 바리스터 저항(0:∞Ω), Rb:입계저항(10^{12}~10^{13}Ω)

2.1.2 V/I 특성곡선

금속산화물 바리스터의 경우 전류의 크기에 따라 누설전류영역, 정상동작영역, 고전류 영역으로 나눌 수 있다. 누설전류영역은 누설전류 1mA를 기준으로 한 영역이 된다.



<그림 2> 사용된 Strap type 40KA 바리스터의 V/I특성 곡선

누설전류영역에서 이상적인 바리스터의 저항은 ∞이다. 입계의 저항이 커서 ZnO grain의 저항은 무시될 수 있으며, Ohmic저항인 Rb가 낮은 전류영역에서 특성에 영향을 미치게되고 V-I특성곡선은 직선화 된다. 또한 Rb는 온도의존성을 가지고 있으므로 온도가 증가하면 누설전류가 증가한다. 보호영역은 Rv<<Rb, Rg<<Rv인 영역으로 Rv가 전기적인 특성을 결정한다. V/I곡선은 지수함수에 의해 단순화하면 log-log 스케일에서 거의 직선으로 나타나게 된다.

$$I = kV^{\alpha} \quad \alpha > 1 \qquad \text{(수식1)}$$

$$\alpha = (\log I_2 - \log I_1)/(\log V_2 - \log V_1) \qquad \text{(수식2)}$$

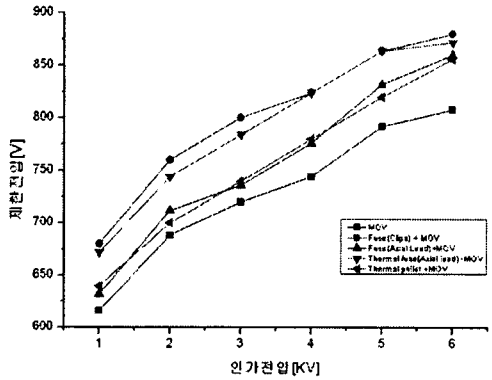
I=바리스터를 통해 흐르는 전류 V=바리스터 양단에 걸리는 전압

k=바리스터 타입에 의존하는 세라믹 상수 α= 비직선형 상수
I_1= 0.1mA I_2=1mA
V_1 = DC 0.1mA를 인가하였을 때 바리스터 양단에 걸리는 전압
V_2 = DC 1mA를 인가하였을 때 바리스터 양단에 걸리는 전압

<그림2>의 경우는 시험에 사용된 EPCOS Strap type 40KA 금속산화물 바리스터의 V/I특성곡선을 표현한 것으로 이를 기준으로 각각의 단락방지용 소자를 적용하였을 경우 바리스터의 보호영역에서의 제한전압 변동에 대하여 분석한다.

2.2 유형별 제한전압 특성

2.2.1 Combination Wave(CW) IEEE 62.41 Cat C1(6KV/3KA)



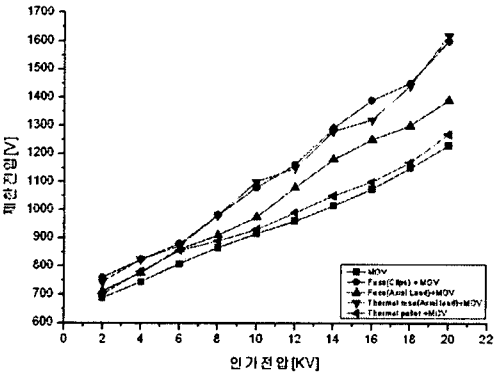
<그림 3> Combination Wave 6KV/3KA @1KV/0.5KA상승 시 특성

<그림3>은 EPCOS Strap type 40KA 금속산화물 바리스터와 단락 방지용 소자를 적용한 4종에 대한 IEC 61643 Class Ⅱ (CW : Combination Wave)에서 IEEE 62.41에 해당하는 Cat C1(6KV/3KA) 서지인가 시험에 따른 결과를 도시한 것이다. Combination wave 6KV/3KA 인가 시 특성전압을 표1에 나타내었다.

<표 1> Combination wave 6KV/3KA 인가 시 특성전압

	MOV	Fuse (Clips)	Fuse (Axial lead)	Thermal Axial	Thermal pellet
제한전압 [V]	808	880	840	872	850

2.2.2 Combination Wave(CW) IEEE 62.41 Cat C3(20KV/10KA)



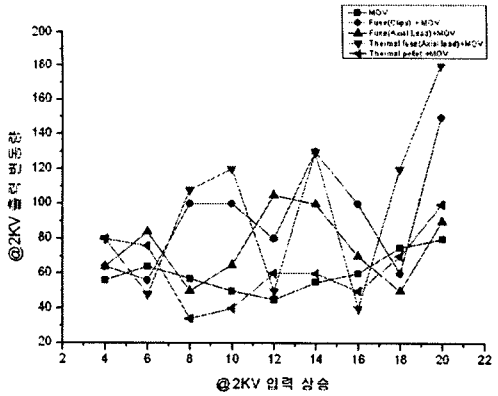
<그림 4> Combination Wave 20KV/10KA @2KV/1KA상승 시 특성

<그림4>은 EPCOS Strap type 40KA 금속산화물 바리스터와 단락 방지용 소자를 적용한 4종에 대한 IEC 61643 Class Ⅱ (CW : Combination Wave)에서 IEEE 62.41에 해당하는 Cat C3(20KV /10KA) 서지인가 시험에 따른 결과를 도시한 것이다. Combination wave 20KV/10KA 인가 시 특성전압을 표2에 나타내었다.

<표 2> Combination wave 20KV/10KA 인가 시 특성전압

	MOV	Fuse (Clips)	Fuse (Axial lead)	Thermal Axial	Thermal pellet
제한전압 [V]	1230	1600	1340	1620	1260

2.2.3 Combination Wave(CW) IEEE 62.41 Cat C3(20KV/10KA)를 2KV/1KA로 단위 상승 시 출력 평탄도



<그림 5> Combination Wave 20KV/10KA @2KV/1KA 단위 상승 시 출력 평탄도

<그림5>은 EPCOS Strap type 40KA 금속산화물 바리스터와 단락 방지용 소자를 적용한 4종에 대한 Combination wave를 @2KV/1KA로 단위 상승 시켰을 때 제한전압의 변동폭을 도시한 것이다.

<표 3> Combination wave @2KV/1KA 단위 상승 시 출력 평탄도

	MOV	Fuse (Clips)	Fuse (Axial lead)	Thermal Axial	Thermal pellet
평균상승 전압[V]	60	93	75	97	63

2.3 유형별 특성

<그림3>~<그림5>는 시험시료에 Combination Wave를 @1KV/0.5KA와 @2KV/1KA 단위로 상승 시 제한전압 특성을 분석한 것으로 EPCOS Strap type 40KA 금속산화물 바리스터를 기준으로 보았을 때 thermal pellet을 적용한 경우의 특성이 가장 양호 하였으며, Fuse(Axial lead), fuse(clips), thermal axial type순으로 제한전압 특성이 좋았다. 특히, thermal pellet을 이용한 경우를 제외하고는 전체적으로 combination wave의 @2KV/1KA 단위 상승에 있어 출력의 변화특성이 심하게 변동하고 있음을 알 수 있다.

3. 결 론

ZnO 계열의 금속산화물 바리스터의 경우 흡수내량이상으로 서지가 유입되거나 장기적인 스트레스에 의해 소자가 소손된 경우 상용교류전원이 인가되어 있는 상황에서 소손이 야기되었을 경우에는 순간 저저항의 부하처럼 동작하여 마치 단락루프가 형성된 것과 같은 기능을 하게 된다. 이러한 소손으로 순간 과도한 열에 의한 화재 및 단락사고가 발생될 수 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 일반적으로 금속산화물 바리스터의 앞에 단락방지용 휴즈를 내장하여 안정성 확보를 하게 되는데, 이 경우 휴즈를 어떠한 방식으로 사용하였는가에 따라 제한전압 특성이 변하게 된다. 본 논문에서는 EPCOS Strap type 40KA 금속산화물 바리스터를 이용하여 단일 소자에 대한 제한전압 특성과 Clip, Axial lead type의 휴즈와 2종의 Thermal 휴즈를 사용하여 각각의 제한전압특성을 분석하였다. 그 결과 접촉저항 및 접촉방식에 따라 제한전압의 특성에 많은 차이가 나타났으며, Thermal pellet을 이용한 바리스터 블록에 직접적으로 접촉면을 형성하는 방식이 가장 안정적인 결과를 얻을 수 있었다. 또한 서지보호기에 적용하기 위해 만들어진 Bussmann사의 TVSS Fuse Series의 경우는 동일한 휴즈를 clip을 이용한 접촉과 PCB에 직접적으로 리드를 삽입하는 방식에 있어서 접촉저항의 차이로 인한 제한전압의 특성차이가 발생되는 것을 알 수 있다. 본 논문에서는 IEC 61643 또는 IEC 62305에서 일반적인 낙뢰보호시스템(Lightning Protection System, LPS)에 의해 보호되는 Class Ⅲ에 해당하는 Combination Wave(CW) 인가 시 제한전압특성시험을 한 것으로 향후 본 시험에서 사용된 방식의 휴즈 및 금속산화물 바리스터를 이용하여 Class Ⅱ급의 시험을 통해 각각 적용된 휴즈의 서지통과 내량에 대한 검증을 시행할 계획에 있다. 또한 Class Ⅱ급의 서지인가 시 제한전압을 분석하여 보다 높은 등급에서의 안정성 시험을 할 계획에 있다.

[참 고 문 헌]

[1] IEC 61643-1 Surge protective devices connected to low-voltage power systems- Requirements and test

[2] Keith W.Eilers, "Applications and Safety Issues for Transient Voltage Surge Suppressors", IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRY APPLICATIONS, VOL.36, NO.6, NOVEMBER/DECEMBER 2000