

초크코일을 이용한 SPD 조합회로의 잔류전압 저감기법

(A Method for Reducing the Residual Voltage of Hybrid SPD Circuit Using Choke Coils)

조성철 · 임주홍 · 이태형

(Sung-Chul Cho · Ju-Hong Eom · Tae-Hyung Lee)

Abstract

Gas Discharge Tubes (GDTs) are widely used as surge protectors for communication applications due to their small internal capacitance. In these days, however, they are mostly used in combined configurations, because the activation voltage required to initiate the discharge process in the GDTs for sufficient amount of time can be large enough to damage surge-sensitive protected circuits. For GDTs with a considerably high initial over-voltage value, we should limit the peak voltage using a TVS or filter. As for ZnO varistors, even though their performance for voltage restriction is excellent, their applications in high-frequency communication circuits have been limited because of higher internal capacitance when compared to the GDTs. In order to develop a surge protector for communication applications by taking advantages of these two devices, we built a combination circuit that connects a GDT and a ZnO varistor along with a choke coil in common and differential modes. We describe how the applied SPDs operate in protection process steps with the actual data obtained from the residual voltage measurements at each step. The experiment results show that the surge voltage restriction with the choke coil is more effective in 100 [kHz] RingWave voltage than in lightning impulse voltage.

1. 서론

가스방전관(GDT)은 내부 정전용량이 작아서 통신용 서지보호기로 널리 사용되고 있는 소자이다. 하지만 가스방전관의 동작개시를 위해서는 방전이 개시될 수 있는 충분한 전압과 시간이 필요하며, 이 동작개시전압은 피보호 회로가 서지에 민감한 장비일 경우 손상을 줄 수 있을 만큼 크므로 최근에는 조합 형태로 적용하는 경우가 대부분이다. 이렇게 초기 과전압이 상당 부분 존재하는 가스방전관에는 추가적으로 TVS나 필터 등을 통해 피크전압을 제한해 주어야 한다. ZnO 바리스터의 경우는 전압제한 성능이 매우 뛰어나지만 내부 정전용량이 가스방전관 등에 비해 크기 때문에 주파수 대역이 높은 통신회로에는 적용이 제한되는 경우가 많다.[1] 두 소자의 장점을 살려 통신용 서지보호기에 적합하게 가스방전관과 ZnO 바리스터를 초크코일과 함께 접속한 조합회로를 공통모드와 차동모드로 구성하였다.

초크코일은 일반적으로 교류 전류를 제어하거나 교류 회로(주로 전원부)의 노이즈를 방지하는 목적으로 사용된다. 초크코일의 형상 및 구조는 여러 가지가 있으나 주로 사용하는 코어(core)의 형태에 의하여 결정된다.

주로 사용하는 자재로는 Ferrite Core와 Copper Wire를 사용하지만 코어를 사용하지 않고 공심상태 또는 Bakelite Bobbin등을 사용하는 경우도 있다. 전기적 특성은 회로 설계에 필요한 사항으로 주로 부하시의 무부하시의 Inductance L, 선택도 Q, 직류저항 Rdc등을 관리하며 Coil maker에 개발 의뢰가 될때 L, Q, Rdc 및 구조, 형상 등의 사양을 지정하여 진행한다, 단품상태의 규격은 통상 무부하시의 상태로 표기한다.

2. 본론

2.1 ZnO 및 GDT type 소자의 조합회로 설치기법

SPD의 조합회로를 그림 1에 나타내었으며, 실제 이와 같은 보호단계로 적용되고 있다. 전자기기의 전원으로 사용되는 저압 전원선에 서지가 유입될 때 GDT 종류의 surge arrester에 의해서 서지가 1차적으로 차단된다. 하지만 GDT의 동작개시전압만큼의 전압은 차단되지 못하고 전자기기쪽으로 계속 이행되어진다. 이 때 2차적으로 바리스터에 의해 GDT의 초기 상승부 전압이

다시 제한되며 바리스터의 제한전압 만큼 이행되어진다. 마지막으로 TVS 다이오드 또는 제너 다이오드 등에 의해 전압이 제한되어진다.[2][3] 이와 같은 단계는 기본적인 원리에 의한 단계이며 실제로 적용할 경우 각 보호 소자들의 특성을 정확히 고려하여야 한다.

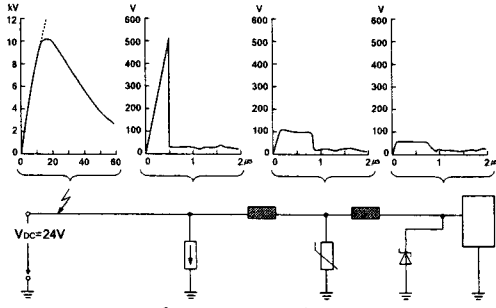
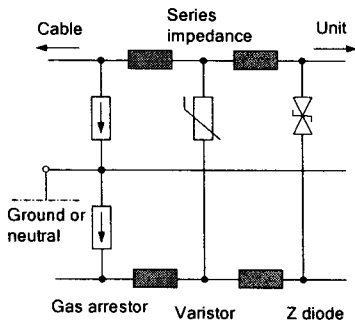
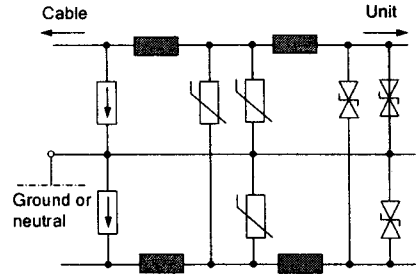


그림 1. SPD 조합회로의 보호단계
Fig. 1. Principle of stepped protection with surge arrester, varistor and suppressor diode

GDT는 일반적으로 방전전류 내량이 크지만 속류가 발생할 수 있으며, 스위칭 형태의 보호동작을 하므로 적용이 불가능한 회로도 존재한다. 최근에는 바리스터의 전류용량도 크게 증가하여 단일소자로 40 [kA]의 I_{max} 값을 가지는 소자도 시판되고 있어서 그 사용이 급증하고 있다. surge suppressor diode나 TVS, 제너 다이오드 등은 반도체 소자로 전압제한 성능은 매우 뛰어나지만 작은 전류용량을 가지므로 서지보호의 제 1단계에서는 사용하기가 힘들다.[4] 그림 2에는 SPD의 3단 조합회로의 대표적인 예를 나타내었다.



(a) L-L 모드 3단 조합회로



(b) L-L 및 L-G 모드 3단 조합회로

그림 2. SPD 조합회로의 예
Fig. 2. Examples of hybrid SPD circuit

2.2. 공통모드 초크코일

인덕터는 전류의 변화율에 비례하여 전압 강하를 갖기 때문에 서지보호회로에 매력적인 장치이다. 서지보호 적용에 적합하기 위해서 몇 가지 중요한 특징을 가져야 하는데 그중에서 제일 중요한 사항은 절연파괴를 막을 수 있는 충분한 절연 코일선을 써야한다는 것이다. 일반적으로 저항이 인덕터보다 좀 더 싸기 때문에 대부분의 회로설계자들은 인덕터보다 저항을 많이 쓰고 있다. 이런 이유로 인덕터는 아날로그 혹은 디지털 신호 라인보다 전원선의 서지보호회로에 주로 많이 사용되어 왔다.

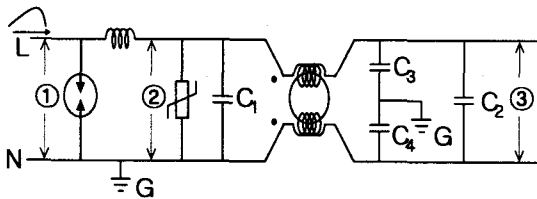
가장 오래된 서지보호기술중의 하나로 공통모드 초크를 들 수 있다. 공통모드 초크는 공통모드 소스에 직렬로 큰 인덕턴스를 추가하는데 유용하지만 차동모드 소스의 직렬연결에서는 무시할 수 있는 인덕턴스를 갖는 4단자 소자이다. 이런 방법에서 공통모드 초크의 사용은 차동모드의 원하는 신호에 미미한 효과를 나타내지만 공통모드 노이즈에 대해서는 실질적인 임피던스를 갖는다. 모든 공통모드 초크는 같은 크기와 같은 턴 수의 독립된 코일을 갖는다. 페라이트 코어는 노이즈 억제나 LC필터에서의 공진제동에 만족할만한 특성을 보인다. AC전원부에서 사용되는 전형적인 공통모드 초크는 공통모드 신호에 대해 약 1 [mH]에서 30 [mH] 사이의 인덕턴스를 갖으며, 차동모드 신호의 인덕턴스는 대개 30 [μH] 정도이다.

단독의 필터가 서지보호장치로서 좋지 않은 점이 크게 두 가지가 있다. 첫째는 과전압의 주파수영역이 원하는 신호의 주파수영역을 겹칠 수 있다는 것이고 두 번째는 과전압 보호를 위해 선형장치를 사용하는 것이 비싸며 부피가 크다는 것이다. 따라서 다른 보호소자와 함께 사용하여 SPD의 효과를 높이는 것이 바람직하다.[5]

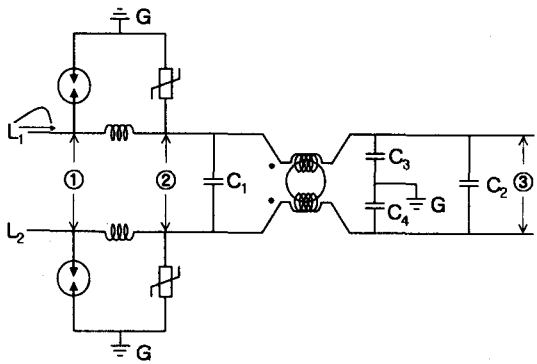
2.3 SPD 조합회로의 실증시험

3단 조합회로에서 GDT나 바리스터 중 하나가 없이 TVS 다이오드와 연결된 회로는 일반적으로 2단 조합회로라고 한다. 그림 2에 나타난 3단 조합회로는 기본적인 SPD 조합사례로 경우에 따라서는 각 부분의 단계를 생략할 수도 있다. 그림 2의 (a)는 각 선간에 침입하는 서지보호에 중점을 둔 것으로 GDT를 통해 접지로 서지전류를 방류시키고 바리스터와 제너다이오드는 GDT의 초기 서지전압의 피크를 L-L 모드위주로 제한하는데 중점을 둔 조합회로이다. 그림 2의 (b)는 L-L 모드 뿐만아니라 L-G모드에도 바리스터와 제너다이오드를 접속한 조합으로 접지전위상승에 의한 서지전압 제한에도 보호성능을 발휘할 수 있다.

SPD 조합회로의 실증시험을 위하여 그림 3과 같이 조합회로를 구성하였다. 제 1단에는 GDT를 사용하였다. 사용된 GDT는 CITEI 사의 BB90 모델로 직류 방전전압은 90 [V], 서지전압에 대한 방전전압 피크는 최대 700 [V]이다. 방전전류 내량은 5 [kA] 용량이며 잔류전압은 최소 80 [V]이다. 바리스터는 EPCOS 사의 S20K60 모델을 사용하였으며, 제한전압은 165 [V]이다. 제 1단과 제 2단 사이에 삽입된 인덕터는 33 [μ H]를 적용하였다. 위와 같은 조합 회로는 1 [kHz] 이하의 낮은 주파수 영역에서 사용이 가능하며, 용도와 주파수 대역에 따라서 각 부분을 제외하거나 적절히 선택하여야 한다.



(a) common-mode 조합회로 실증시험



(b) differential-mode 조합회로 실증시험

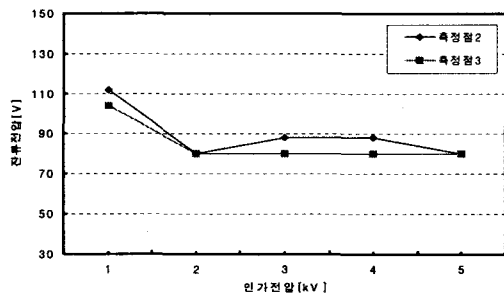
그림 3. SPD 조합회로 실증시험 회로도
Fig. 3. An actual test schematic of hybrid SPD circuit

제 3단에 사용된 부분은 제너다이오드나 TVS 다이오드 대신 서지전압의 피크를 효과적으로 저감시켜줄 수 있는 필터를 적용한 사례이다. 일반적으로 ZnO 소자를 적용할 수 있는 영역이라면 ZnO 소자의 탁월한 전압제한 능력 때문에 TVS 다이오드의 역할이 위축된다. 따라서 본 실증시험에서는 common-mode 초크 형태의 L과 병렬 C로 이루어진 필터를 적용하였다. common-mode 초크에서는 L-L모드에서 인덕턴스가 매우 작지만 L-G모드에서는 직렬 인덕턴스 값이 매우 커서 서지전류가 통과하지 못한다. 일반적으로 사용하는 C1과 C2의 값은 0.1~0.5 [μ F]이며, C3와 C4는 2 [nF] 정도로 사용한다. 만약 접지가 분리되어 있고 전원부의 활성도체와 새시 대지 사이의 캐패시터가 크다면 전기적 충격의 위험이 있을 수 있다. 그림 3에 사용된 필터의 정전용량은 C2의 값이 0.1 [μ F], C3와 C4는 2.5 [nF], 직렬 L의 값은 2 [mH]이다.

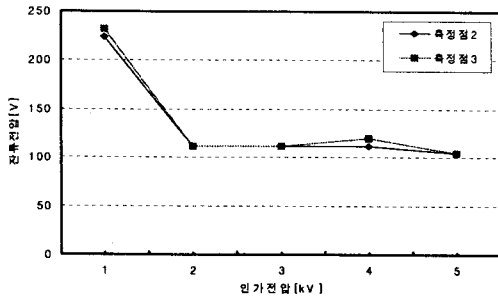
너임펄스와 100 [kHz] RingWave는 KeyTek 장비를 사용하였고, 각 측정점의 전압은 Tektronix 차동프로브 (P5210)를 이용하여 측정하였다.

2.4 시험결과

그림 3에서 각 단계별로 잔류전압 측정점 ①, ②, ③으로 표시하였다. 각 측정점에서의 잔류전압은 단계별로 적용한 SPD들이 어떻게 동작하는지를 명확히 알 수 있으며, SPD 조합회로의 응용에 활용될 수 있다. 1.2/50 너임펄스 전압에 대한 서지를 인가했을 때 common-mode 및 differential-mode의 잔류전압 결과를 그림 4에 나타내었으며, 각 측정지점에서의 대표파형을 그림 4에 비교하였다. 비선형을 갖는 GDT 소자의 특성으로 측정점 ①의 값은 일관성이 결여되기 때문에 대표파형에서 제외를 하였다.



(a) common-mode 조합회로 잔류전압

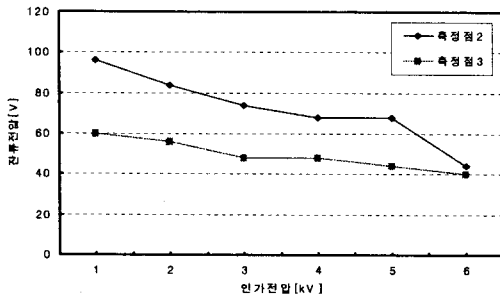


(b) differential-mode 조합회로 잔류전압

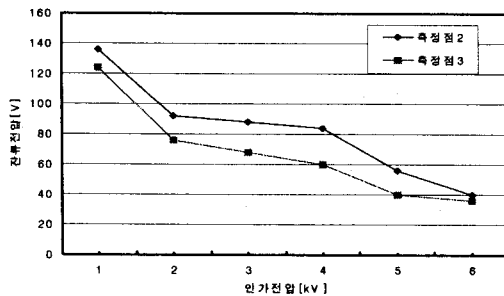
그림 4. 뇌임펄스 전압에 따른 각 측정점의 잔류전압
Fig. 4. Residual voltage of each measuring point for lightning impulse voltage

GDT의 특성으로 측정점 ①의 값이 불규칙하여 측정점 ②와 측정점 ③에서의 값 역시 불규칙하게 나타났으며 3번의 반복실험을 통하여 오차를 최소화 하였다. 뇌임펄스의 인가전압에 대해 잔류전압은 common-mode에서는 약 75 [V], differential-mode에서는 약 110 [V]로 나타남을 알 수 있다. 측정점 ②와 측정점 ③ 사이의 전압차이는 두 모드에서 크지 않음을 확인 할 수 있다.

수십 [kHz]의 주파수 대역을 갖는 뇌임펄스보다 상대적으로 큰 주파수 대역을 갖는 100 [kHz]의 RingWave를 인가전압으로 사용하여 측정된 결과를 그림 5에 나타내었다.



(a) common-mode 조합회로 잔류전압



(b) differential-mode 조합회로 잔류전압

그림 5. RingWave 전압에 따른 각 측정점의 잔류전압

Fig. 5. Residual voltage as measuring point

RingWave의 인가전압이 증가함에 따라 각 모드의 잔류전압 값은 비례적으로 감소하는 현상을 볼 수 있다. common-mode 조합회로에서 잔류전압은 60 [V]에서 40 [V]까지 감소하였고, differential-mode 조합회로에서의 잔류전압은 120 [V]에서 38 [V]까지 감소하였다. 뇌임펄스 인가실험과는 다르게 RingWave는 측정점 ②와 측정점 ③ 사이의 전압 차이가 나타나 초크코일의 영향을 확인할 수 있다.

뇌임펄스 전압에서보다 RingWave 전압에서 초크 코일이 필터의 역할로 작동하여 잔류전압을 효과적으로 낮추었다고 볼 수 있다. IT기기 및 높은 보호레벨이 필요한 장비에 대해 초크 코일을 이용한 조합회로는 높은 주파수 서지의 영향을 최소화하는 효과를 기대할 수 있다.

3. 결론

ZnO 바리스터와 가스방전관을 초크코일과 함께 접속한 조합회로를 공통모드와 차동모드로 구성하고 조합특성을 제시하였다. 뇌임펄스와 100 [kHz] RingWave가 인가된 상태에서 보호가 되는 과정을 각각의 측정점에서 잔류전압을 측정하여 단계별로 적용한 SPD들이 어떻게 동작하는지를 실측데이터로 제시하였다. 뇌임펄스보다 RingWave가 인가되었을 때 단계별 보호효과가 높았으며 RingWave 전압에서 초크코일의 필터효과를 확인할 수 있었다.

본 연구는 한국전기안전공사(R-2005-7-322) 주판으로 수행되었음.

참고 문헌

- [1] 이복희, 이승철, "정보통신설비의 뇌(雷)보호", 인하대학교 출판부, 2004.
- [2] KS C IEC 61643-12, "저압배전계통의 서지보호장치, 제12부: 선정 및 지침", 2003.
- [3] KS C IEC 61643-1, "저압배전계통의 서지보호장치, 제1부: 성능 및 시험방법", 2003.
- [4] KS C IEC 61643-311, "저압 서지보호장치의 부품, 제 311부: 가스방전관 규정", 2003.
- [5] R. B. Standler, Protection of Electronic Circuits from Overvoltages, John Wiley & Sons, 1989.