Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers Vol. 21, No.8, pp. 96~101 September 2007 논문 21-8-12

초크코일을 이용한 SPD 조합회로의 잔류전압 저감기법

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

엄주홍 · 조성철* · 이태형
(Ju-Hong Eom · Sung-Chul Cho · Tae-Hyung Lee)

요 약

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 피크 전압을 제한해 주어야 한다. 본 논문에서는 공통모드 초크코일을 이용한 필터를 적용하여 공통모드와 차동모드의 조합회로를 구성하고, 주파수 대역이 다른 뇌임펄스 전압과 ring wave 전압을 인가하여 파형에 따른 조합회로의 특성을 확인하였다. 다단으로 보호되는 과정을 각각의 측정점에서 잔류전압을 측정하여 단계별로 적용한 SPD들이 어떻게 동작하는지를 실측데이터로 제시하였다. 각 단계의 잔류전압을 비교했을 때 공통모드에 비하여 차동모드에서 서지전압을 제한하는 성능이 보다 효과적이다.

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 sparkover voltage required to initiate the discharge process in the GDTs and the time taken for arc formation process can be large enough to damage to sensitive circuits. For GDTs with a considerably high initial residual voltage, we should limit the peak voltage using a TVS or filter. We made a hybrid SPD circuits of common-mode type and differential-mode type with the filter using common-mode choke. Also, we applied lightning impulse voltage and ring wave voltage which frequency bandwidth are different each other and verified the characteristics of hybrid SPD circuits according to waveshapes. We describe how the applied SPDs operate in protection process steps with the actual data obtained from the residual voltage measurement at each step. The experiment results show that the surge voltage reduction with the choke coil is more effective in differential-mode circuit than in common-mode circuit.

Key Words : Choke Coil, Spd, Residual Voltage, Gdt, Surge Protector

* 주저자 : 기초전력연구원 선임연구원
Tel : 02-885-9443, Fax : 02-883-0827, E-mail : eommas@snu.ac.kr
접수일자 : 2007년 5월 30일, 1차심사 : 2007년 6월 5일, 심사완료 : 2007년 6월 26일

1. 서 론

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 장점만을 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 사용되는 서지보호기중의 하나이다. 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 부하시와 무부하시의 인덕턴스 L, 선택도 Q, 직류저항 R_{dc}등을 관리한다. 사용자가 코일 제조사에 개발을 의뢰할 때 L, Q, R_{dc} 및 구조, 형상 등의 사양을 지정하여 제작하게 된 단품상태의 규격은 통상 무부하시의 상태로 표기한다.

본 연구에서는 초크코일을 이용한 SPD에 공통모드와 차동모드로 서지전압을 인가하여 그 특성을 분석하였다. 또한 뇌서지 전압과 ring wave 전압을 인가하여 각 측정점에서의 잔류전압을 측정하여 비교하였다.

2. 본 론

2.1 ZnO 및 GDT type 소자의 조합회로 설치기법

SPD의 조합회로를 그림 1에 나타내었으며, 실제 이와 같은 보호단계로 적용되고 있다.

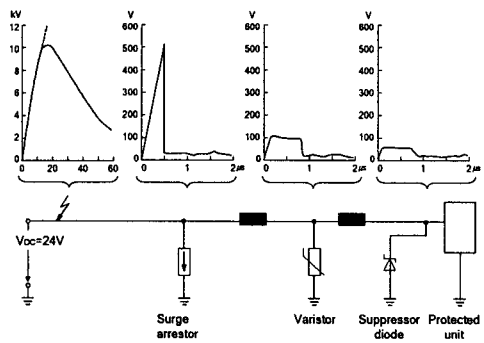
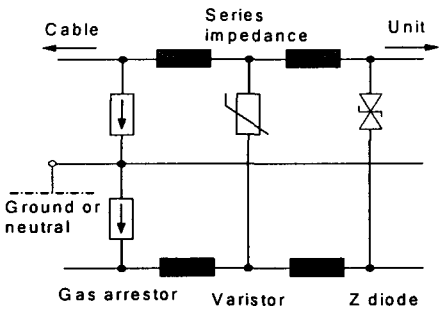


그림 1. SPD 조합회로의 단계별 보호 원리
Fig. 1. Principle of stepped protection with a hybrid SPD

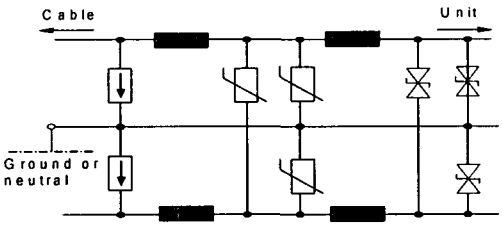
전자기기의 전원으로 사용되는 저압 전원선에 서지가 유입될 때 GDT 종류의 surge arrestor에 의해서 서지가 1차적으로 차단된다. 하지만 GDT의 동작개시전압만큼의 전압은 차단되지 못하고 전자기기 쪽으로 계속 이행되어진다. 이 때 2차적으로 바리스터에 의해 GDT의 초기상승부 전압이 다시 제한되며 바리스터의 제한전압 만큼 이행되어진다. 마지막으로 TVS 다이오드 또는 제너 다이오드 등에 의해 전압이 제한되어진다[2-3].

GDT 등은 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. 그림 2에는 SPD의 3단 조합회로의 대표적인 예를 나타내고 있다.



(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

3단 조합회로에서 GDT나 바리스터 중 하나가 없이 TVS 다이오드와 연결된 회로는 일반적으로 2단 조합회로라고 한다. 그림 2에 나타낸 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 모드뿐만 아니라 L-G모드에도 바리스터와 제너다이오드를 접속한 조합으로 접지전위상승에 의한 서지전압 제한에도 보호성능을 발휘할 수 있다[4].

2.2 공통모드 초크코일

코일은 전류의 변화율에 비례하여 전압 강하를 갖기 때문에 서지보호회로에 효과적인 장치이다. 코일은 서지보호로 적용하기에 적합하기 위해서 몇 가지 중요한 특징을 가져야 하는데, 그중에서 제일 중요한 사항은 절연파괴를 막을 수 있는 충분한 절연 코일선을 써야 한다는 것이다.

일반적으로 저항이 인덕터보다 가격이 낮기 때문에 대부분의 회로설계자들은 인덕터보다 저항을 많이 쓰고 있다. 이런 이유로 인덕터는 아날로그 혹은 디지털 신호선보다 전원선의 서지보호회로에 주로 많이 사용되어 왔다.

가장 오래된 서지보호기술중의 하나인 공통모드 초크코일은 공통모드 소스에 직렬로 큰 인덕턴스를 추가하는데 유용하지만, 차동모드 소스의 직렬연결에서는 무시할 수 있는 인덕턴스를 갖는 4단자 소자이다. 이와 같은 방법으로 공통모드 초크코일을 사용했을 때 원하는 차동모드의 신호에는 미미한 영향을 미치지만, 공통모드 노이즈에 대해서는 실질적인 임피던스를 갖게 된다.

모든 공통모드 초크코일은 같은 크기와 같은 턴수의 독립된 코일을 갖으며, 초크코일 안에 사용되는 페라이트 코어는 노이즈 억제나 LC필터에서의 공진제동에 만족할만한 특성을 보인다. AC전원부에서 사용되는 전형적인 공통모드 초크코일은 공통모드 신호에 대해 약 1[mH]에서 30[mH] 사이의 인덕턴스를 갖으며, 차동모드 신호의 인덕턴스는 대개 30[μH] 정도의 인덕턴스를 갖는다.

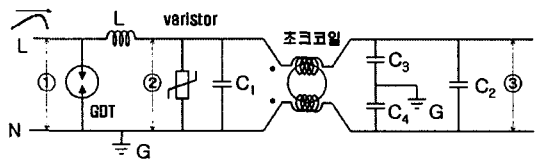
일반적으로 단독의 필터가 서지보호장치로서 좋지 않은 점이 크게 두 가지가 있다. 첫째는 과전압의 주파수영역이 원하는 신호의 주파수영역 내에 존재할 수 있다는 것이고, 두 번째는 과전압 보호를 위해 선형장치를 사용하는 것이 비싸며 부피가 크다는 것이다. 따라서 그림 2의 SPD 조합회로와 공통모드 초크코일을 사용하여 서지 억제효과를 높이는 것이 바람직하다[5].

2.3 SPD 조합회로의 모드별 실증실험

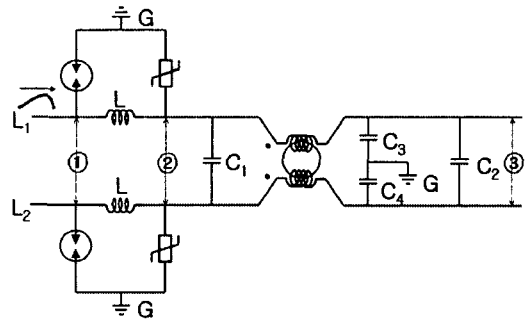
SPD 조합회로의 실증시험을 위하여 공통모드 초크코일을 포함한 조합회로를 그림 3에 나타내었다. 제1단에는 GDT를 사용하였다. 사용된 GDT는 CITEL 사의 BB90 모델로 직류 방전전압은 90[V], 서지전압에 대한 방전전압 피크는 최대 700[V]이다. 방전전류 내량은 5[kA] 용량이며 잔류전압은 최소

80[V]이다. 바리스터는 EPCOS 사의 S20K60 모델을 사용하였으며, 제한전압은 165[V]이다. 제1단과 제2단 사이에 삽입된 인덕터는 33[μH]를 적용하였다. 위와 같은 조합 회로는 1[kHz] 이하의 낮은 주파수 영역에서 사용이 가능하다. 제3단에 사용된 부분은 제너다이오드나 TVS 다이오드 대신 서지전압의 크기를 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 공통모드 초크코일 형태의 L과 병렬 C로 이루어진 필터를 적용하였다. 일반적으로 사용하는 C1과 C2의 값은 0.1~0.5[μF]이며, C3와 C4는 2[nF]정도로 사용한다.

그림 3에 사용된 필터의 정전용량은 C2의 값이 0.1[μF], C3와 C4는 2.5[nF], 직렬 L의 값은 2[mH]이다. L과 C로 인하여 저역통과필터로 동작하게 된다. 공통모드의 신호에 대해서 저역통과 주파수는 16[kHz]가 되고 차동모드의 신호에 대해서 저역통과 주파수는 92[kHz]가 된다.



(a)공통모드 조합회로



(b)차동모드 조합회로

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

그림 3의 각 단계별 측정점을 실험에 사용된 조합형 SPD의 사진에 나타내었으며, 실험장비와 함께 그림 4에 나타내었다. 1.2/50[μs] 전압, 8/20[μs] 전류의 뇌임펄스와 100[kHz]의 ring wave 전압은 KeyTek사의 서지발생기를 사용하였다. 뇌임펄스 전압은 내부임피던스를 2[Ω]으로 사용하여 큰 서지전류가 흐를 수 있도록 설정하였다. 각 측정점의 전압은 Tektronix 차동프로브(P5210)를 이용하여 잔류전압을 동시에 측정하였다. 각 측정점에서 측정된 잔류전압을 통하여 단계별로 적용된 SPD들이 어떻게 동작하는지를 명확히 알 수 있다. 공통모드 및 차동모드 조합회로의 서지인가 실험에서 각 측정점의 잔류전압 결과를 그림 5에 나타내었다. 서지전류는 0.5[kA]에서부터 5[kA]까지 5번 인가하였고 그때의 잔류전압을 측정하였다.

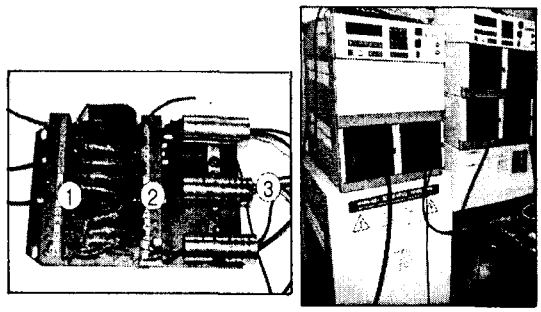
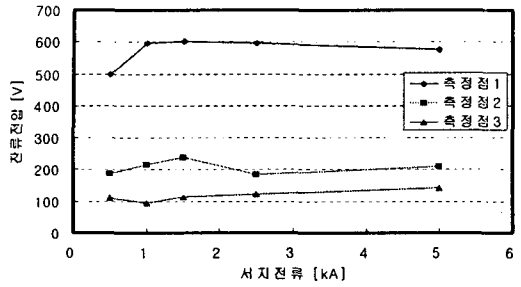
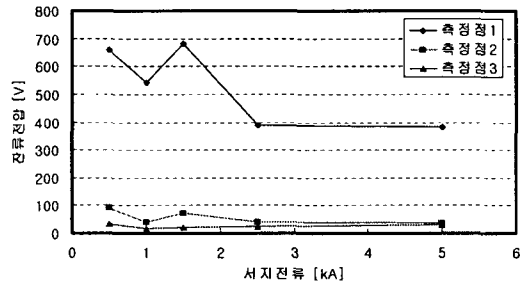


그림 4. 조합형 SPD와 실험장비
Fig. 4. A hybrid SPD and test equipment

그림 5의 (a)와 (b)에서 측정점이 1에서 3으로 갈수록 잔류전압이 감소하였으며, 서지전류가 5[kA]까지 인가되었을 때 정상 동작함을 알 수 있다. SPD의 조합에 있어서 3단계로 적용할 때 측정점 3에서 잔류전압이 제일 낮았지만, 차동모드의 경우 측정점 2와 측정정 3의 서지전압을 제한하는 효과가 비슷하게 나타났다. 이와 같은 결과는 이미 노이즈 저감대책으로 차동모드 신호회로를 많이 사용하는 이유에서도 알 수 있듯이 공통모드의 서지전압을 제한하는데 매우 유용하다는 것을 의미한다. 하지만 회로를 구현하는 것이 상대적으로 복잡하다는 단점을 지니고 있어 각 보호소자들의 조합특성을 정확하게 분석한 후 적용하여야 한다.

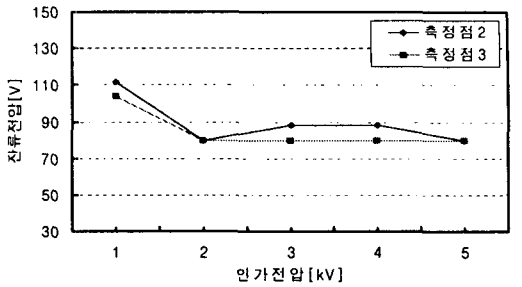


(a) 공통모드 조합회로의 잔류전압

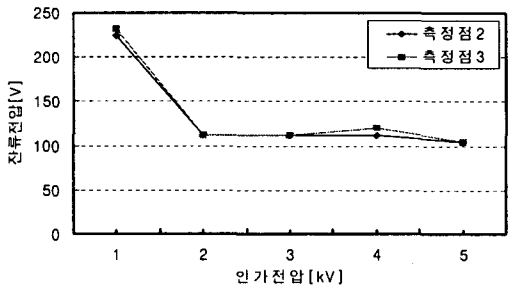


(b) 차동모드 조합회로의 잔류전압

그림 5. 각 모드에서의 측정점의 위치에 따른 잔류전압(lightning impulse)
Fig. 5. Residual voltage as each measuring points(lightning impulse)



(a)공통모드 조합회로의 잔류전압



(b)차동모드 조합회로의 잔류전압

그림 6. 각 모드에서의 측정점의 위치에 따른 잔류전압(lightning impulse)
Fig. 6. Residual voltage as each measuring points(lightning impulse)

2.4 인가전압에 따른 SPD 조합회로의 실증실험

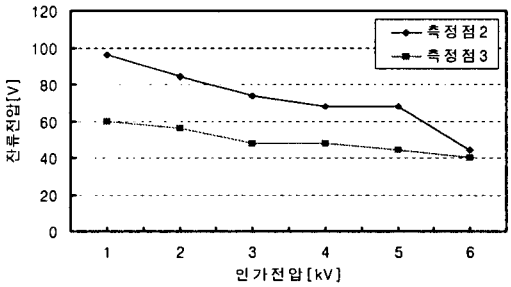
공통모드 초크코일과 추가로 적용된 캐패시터는 저역통과필터로서 작용을 하게 된다. 저역통과주파수는 공통모드 신호일 때 16[kHz], 차동모드 신호일 때 92[kHz]로 확인이 되었다. 이에 수십 [kHz] 주파수 영역을 갖는 뇌임펄스와 비교를 하기 위해서 10[kHz] 주파수영역을 갖는 ring wave 전압을 선택하였다. 각 인가모드에 뇌임펄스 전압과 ring wave 전압을 각각 인가하였다. Ring wave 전압을 생성하는 장비의 특성상 인가전압을 5[kV]로 제한을 두고 1[kV]부터 순차적으로 인가하였다. 1.2/50 뇌임펄스 전압에 대한 서지를 인가했을 때 공통모드 및 차동모드의 잔류전압 결과를 그림 6에 나타내었다. 비선형을 갖는 GDT 소자가 있는 측정점 ①에서의 잔류전압은 그림 6과 그림 7에서 제외시켰다.

측정점 ①에서의 잔류전압이 불규칙하여 측정점 ②와 측정점 ③의 값 역시 불규칙하게 나타났으나, 3번의 반복실험을 통하여 평균화된 값을 사용하였다. 뇌임펄스의 인가전압에 대한 잔류전압은 공통모드에서는 약 75[V], 차동모드에서는 약 110[V]로 나타남을 알 수 있다. 뇌임펄스 인가전압에 대한 측정점 ②와 측정점 ③ 사이의 전압차이는 두 모드에서 크지 않음을 확인할 수 있다.

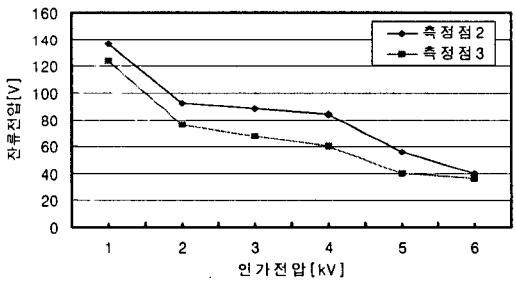
수십 [kHz]의 주파수 대역을 갖는 뇌임펄스 전압보다 상대적으로 큰 주파수 대역을 갖는 100[kHz]의 Ring wave 전압을 인가하여 잔류전압을 측정한 결과를 그림 7에 나타내었다.

Ring wave의 인가전압이 증가함에 따라 각 모드의 잔류전압 값은 비례적으로 감소하는 현상을 볼 수 있다. 공통모드 조합회로에서 잔류전압은 60[V]에서 40[V]까지 감소하였고, 차동모드 조합회로에서의 잔류전압은 120[V]에서 38[V]까지 감소하였다. 그림 6

과 그림 7을 비교해 보았을 때 주파수가 상대적으로 큰 ring wave 전압이 저역통과필터로 필터링된 것을 확인할 수 있다. 특히 전원선에 들어오는 고주파 노이즈는 IT기기 및 높은 보호레벨이 필요한 장비에 대해 초크 코일을 이용한 조합회로는 높은 주파수 서지의 영향을 최소화하는 효과를 기대할 수 있다.



(a) 공통모드 조합회로의 잔류전압



(b) 차동모드 조합회로의 잔류전압

그림 7. 각 모드에서의 측정점의 위치에 따른 잔류전압(ring wave)
Fig. 7. Residual voltage as each measuring points(ring wave)

3. 결 론

본 연구에서는 ZnO 바리스터와 가스방전관을 공통모드 초크코일과 함께 접속한 조합회로를 공통모드와 차동모드로 구성하고 조합특성을 제시하였다. 또한 뇌임펄스 전압과 ring wave 전압을 인가하여 보호가 되는 과정을 각각의 측정점에서 잔류전압을 측정하여 단계별로 적용한 SPD들이 어떻게 동작하는지를 실측데이터로 제시하였다. 실험결과 차동모드 조합회로에서 서지전압을 제한하는 효과가 큰 것으로 나타났다. 뇌임펄스 전압과 100[kHz] ring wave 전압이 인가된 상태에서 보호가 되는 과정을 각각의 측정점에서 잔류전압을 측정하여 단계별로 적용한 SPD들이 어떻게 동작하는지를 실측제이터로 제시하였다. 뇌임펄스 전압보다 ring wave 전압이 인가되었을 때 단계별 보호효과가 높았으며 공통모드 초크코일이 저역통과필터로 작용하였음을 확인하였다.

본 연구는 산업자원부 지원에 의하여 한국전기안전공사 (과제번호: R-2005-C-069)주관으로 수행된 과제임.

References

[1] 이복희, 이승칠, "정보통신설비의 뇌(雷K)보호", 인하대학교 출판부, 2004.
[2] KS C IEC 61643-12, "저압배전계통의 서지보호장치, 제12부 : 선정 및 지침", 2003.
[3] KS C IEC 61643-311, "저압 서지보호장치의 부품, 제311부 : 가스방번관 규정", 2003.
[4] Keith W,. Eilers, Mark Wingate, and Eric Pham, :Application and Safety Issues for Transient Voltage Surge Suppressors", IEEE Tras. on IA, Vol.36, No.6, pp.1734~1740, 2000.
[5] R.B. Standler, Protection of Electronic Circuits from Overvoltages, John Wiley & Sons, 1989.

◇ 저자소개 ◇

엄주홍 (嚴柱弘)
1972년 9월 5일생. 1998년 2월 인하대 공대 전기공학과 졸업. 2004년 2월 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 기초전력연구원 선임연구원.
Tel : (02)885-9443
E-mail : eommas@snu.ac.kr

조성철 (趙成哲)
1977년 12월 16일생. 2003년 2월 인하대 공대 전기공학과 졸업. 2005년 2월 동 대학원 전기공학과 졸업. 현재 기초전력연구원 전임연구원.
Tel : (02)885-9443
E-mail : canfeel@snu.ac.kr

이태형 (李泰炯)
1978년 6월 21일생. 2004년 2월 인하대 공대 전기공학과 졸업. 2006년 2월 동 대학원 전기공학과 졸업. 현재 기초전력연구원 전임연구원.
Tel : (02)885-9443
E-mail : tanghi@snu.ac.kr