

제어전극을 갖는 방전소자의 방전개시전압 설계에 관한 연구

A Study on the Design of Discharge Voltage of Discharge Element with Control Electrode

박근석* · 최준웅* · 이대동*

(Keun-Seok Park · Jun-Woong Choi · Dae-Dong Lee)

Abstract - The power system and control system constantly reveals surge voltage such as switching surge of lighting devices and power conversion devices, operating and stops surge of rotating devices, charge & discharge surge, opening & closing surge of circuit breakers and the like. Such a surge voltages can cause damage or malfunction of the element such as CPU, Memory, semiconductor etc. In the industry, in order to protect the system from the surge voltage, a surge protector with low discharge starting voltage, fast response time, and low capacitance is required, and technical development research for that is ongoing. In this paper, in order to solve the problem of the existing GDT discharge tube not discharging from the transient voltage which is higher than the commercial voltage and lower than the discharge voltage of the discharge element, we have developed a discharge element having the control electrode & control circuit. The discharge element having the control electrode and the control circuit can control the discharge voltage according to the needs of the consumer and can satisfy the requirement of the discharge element and the technology of the surge protector downsizing technology and the surge protection technology. It is judged to be effective for development.

Key Words : SPD, GCA, Discharge element, GDT

1. 서 론

산업에서 사용되는 전력 및 제어 시스템은 PLC 제어 시스템에서 FPGA, ARM 등 반도체 및 컴퓨터 기반의 임베디드 시스템의 초고속 제어기술로 변화되고 있다. 이는 12 V~24 V의 전자식 접촉제어방식에서 5 V, 3 V, 1.5 V, 0.8 V까지 매우 낮은 전압 반도체 회로의 직접제어방식으로 발전되었고 높은 전송속도와 제어속도를 갖는 장점을 갖고 있다[1]. 하지만 반도체 등의 제어소자는 과도전압과 노이즈에 민감하게 반응하고 소자가 소손되거나 오동작이 발생하였을 경우 원인을 규명하기가 매우 힘든 단점을 갖고 있으며 대부분의 주요 원인은 서지전압으로 나타난다. “서지전압”이란 전력 또는 유틸리티 그리드에서 마이크로초에서 수 초 동안 돌발적으로 발생하여 충격성을 갖는 정격이상의 과도전압을 말한다. 이 과도전압은 크기와 시간에 따라 에너지 량은 달라지지만 높은 진폭의 과도전압의 경우 전기소자, 부품, 장비의 절연등급을 초과하여 절연성능 저하 또는 직접적인 손상을 일으킬 수 있고 낮은 진폭의 과도전압이 오동작으로 발생하지 않더라도 반복적으로 발생하면 장비의 기대 수명을 단축시킬 수 있다. 서지 전압은 뇌 서지, 스위칭 서지, 기동서지, 충·방전서지, 개폐

서지 등으로 전력품질 불량률의 주요 원인이 되며 이를 보호하기 위해 서지전압이 침입할 수 있는 경로에 서지보호기(SPD : Surge Protective Device)를 설치하여 빠르게 방전시키는 것이 보편화된 기술이다. 서지보호기의 구비조건은 방전개시전압이 낮고 응답시간이 빠르며, 정전용량이 작고 시스템 동작특성에 영향을 주지 않아야 한다[2-4]. 이러한 서지보호에 사용되는 바리스터, 어레스터, 방전캡, 방전관 등의 방전소자를 사용한 많은 보호기와 보호회로가 개발되고 있으나 잔류전압이 높고 상용전압과 방전개시전압 사이의 과도전압은 차단되지 않기 때문에 IEEE 1100-2005에서조차 서지보호기는 서지전압을 보호할 수도 있고 못할 수도 있다[5].

본 논문에서는 빠른 과도 전압 특성의 서지전압과 낮은 과도 전압에서도 방전할 수 있고 낮은 잔류전압을 유지할 수 있는 “제어전극을 갖는 방전소자와 제어회로”를 고안하여 서지보호기의 보호성능에 관한 신뢰성을 향상할 수 있는 방안을 제안하고자 한다. 제안한 방전소자와 제어회로는 다수의 반복시험을 통해 동작 특성을 검증하였고 타 소자와의 비교시험을 통해 성능을 검증하였다.

2. 제어전극을 갖는 방전소자의 제어회로

2.1 방전소자 및 제어회로

본 실험에 사용되는 GCA(Gate Control Arrestor)는 세라믹 재

† Corresponding Author : Dept. of Electrical Engineering, Hanbat National University, Korea.
E-mail: ldd77@hanbat.ac.kr

* Dept. of Southwestern, Research Institute of Medium & Small Shipbuilding, Korea.

Received : September 11, 2018; Accepted : October 19, 2018

질의 실린더, 방전전극, 제어전극, 방전 갭으로 구성되며 실린더 내부에 네온, 아르곤, 크립톤 등의 방전도움물질(Gas)을 봉인한다.

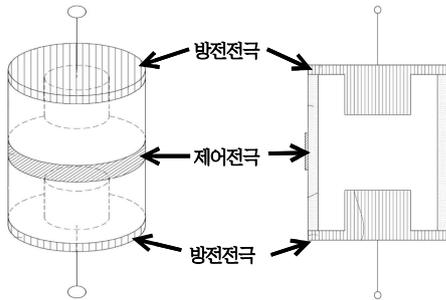


그림 1 GCA의 구성
Fig. 1 Composition of GCA

일반적인 가스방전관(GDT : Gas Discharge Tube)은 2개의 방전전극 사이에 과도전압이 인가되면 방전 갭 내부에 봉인된 방전도움물질이 전리현상이 일으키며 글로우 방전이 발생한다. 이 글로우 방전에 의해 방전전류가 커지고 아크를 발생시키며 방전전극 사이에 발생한 과도전압을 순간적으로 소멸시키는 원리이다. 이 소자는 직류 100 V/s 정도의 느린 과도전압이 인가되는 경우 약 90 V 수준에서 방전을 일으키지만 1000 V/ μ s의 빠른 과도전압이 인가되는 경우 700 V 수준에서 방전되는 방전특성을 갖고 있다. 이처럼 상용전압보다 높고 방전개시전압보다 낮은 과도전압에서 방전하지 않는 기존 GDT 방전소자의 문제점을 개선하기 위해 GCA의 제어회로를 개발하였다.

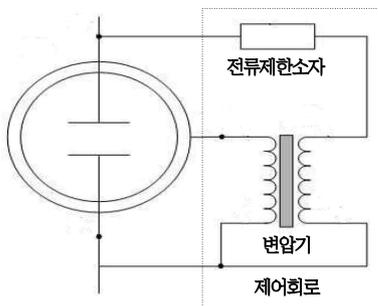


그림 2 GCA 소자 및 제어회로
Fig. 2 GCA & control circuit

상기 회로의 방전전극 양단에 설치된 전류제한소자와 변압기는 빠르게 입사되는 과도전압을 상승 초기에 승압시켜 과도전압이 낮은 시점에서 차단할 수 있는 회로이다. 방전관 외부의 제어전극은 세라믹튜브의 유전특성(誘電特性, dielectric property)으로 실린더 내부에 자기장을 형성함으로써 방전전극 양단의 전자분극(電子分極, electronic polarization)을 촉진하고 방전을 유도하는 역할을 한다. 또, IEC C62.41에서 요구하는 1.2/50 μ s의 표준 서지전압[6]을 인가하였을 때 변압기의 권선비와 전류제한소자를 이용하여 수요자가 원하는 낮은 전압범위에서 방전하여 잔

류전압을 낮출 수 있는 회로이다. 이는 빠르게 인가되는 낮은 과도전압에 대해 우수한 방전 성능을 제공하고 낮은 잔류전압을 유지할 수 있는 특성을 갖고 있어 보호성능이 우수한 서지보호기의 주 회로에 활용될 수 있다.

2.2 실험방법

IEC61643-11의 요구사항[7] 및 시험방법을 참조하여 임펄스 발생기로 방전개시전압과 잔류전압을 측정하였다. 임펄스 발생기에서 발생한 1.2/50 μ s 임펄스전압은 실제 전력계통에서 발생하는 서지전압과 매우 유사한 파형으로 시료가 동작하는 조건과 특성을 확인하기에 용이하다.

입사되는 임펄스전압의 크기는 AC 220 V 서지보호기의 서지전압 판단기준이라 할 수 있는 500 V보다 낮은 480 V로 선정하여 시료별 방전개시전압과 잔류전압을 확인하였고 시험장비의 유효성을 확보하기 위해 공인기관으로부터 교정된 장비를 사용하였다.

시료는 일반 GDT, GCA 회로를 사용하였고 GCA 회로의 제한소자는 A사에서 개발한 반도체 칩, 콘덴서(175 μ F), 저항(10 k Ω), 100배의 권선비를 갖는 고주파 변압기를 사용하였다. A사에서 개발한 반도체 칩은 surge 성분을 추출하는 반도체 칩으로 120 pF의 내부용량을 갖는다.

표 1 실험장비 세부사항

Table 1 Detail of test equipment

실험장비	모델명	기기번호	교정유효일자
임펄스 발생기	SL-6120	SL-6120-0001	2019.08.08
오실로스코프	LC534L	1369	2019.08.08
고압프로브	HVP-28HF	20172286	2019.08.08

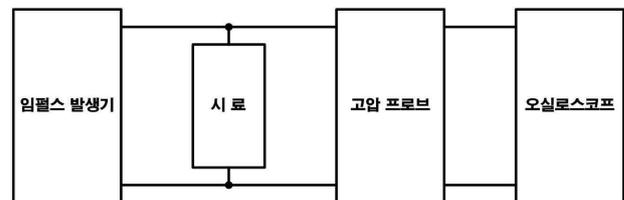


그림 3 방전개시전압 실험회로

Fig. 3 Monitoring circuit of discharge voltage

3. 결과 및 고찰

실험회로는 그림 4와 같이 임펄스 발생기로 480 V의 임펄스 전압을 시료에 입사하고 고압프로브(감쇠율 1/1000, 최대입력 28 kV)와 오실로스코프(BW 1 GHz, 4 GS/s)를 통해 측정되는 시료의 방전개시전압, 잔류전압, 방전시간을 확인하였다. 그 결과 GCA 회로는 480 V의 임펄스전압을 입사하였을 때 그림 5와 같이 약

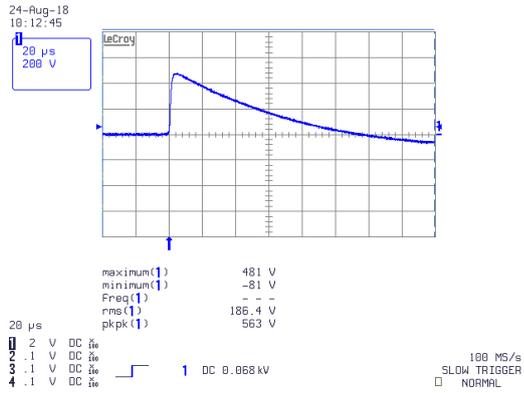


그림 4 임펄스전압 파형
Fig. 4 Waveform of impulse voltage

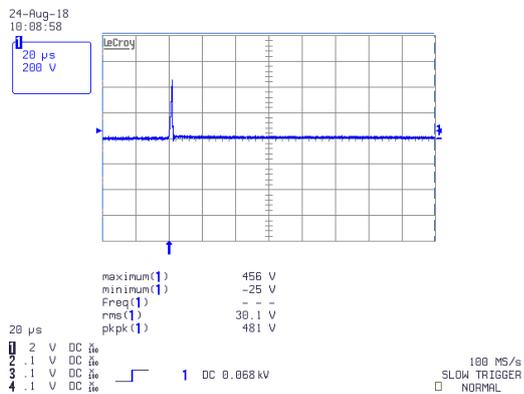


그림 5 GCA 회로의 방전전압
Fig. 5 Discharge voltage of GCA & control circuit

3 μs, 456 V에서 방전되었다.

GDT는 GCA 회로와 동일한 조건인 480 V의 임펄스전압을 입사하였을 때 동작하지 않았고 임펄스전압을 550 V에서부터 50 V단위로 상승시켜 방전개시전압을 확인한 결과 GDT는 750 V를 입사하였을 때 그림 6과 같이 4 μs, 744 V에서 방전되었다.

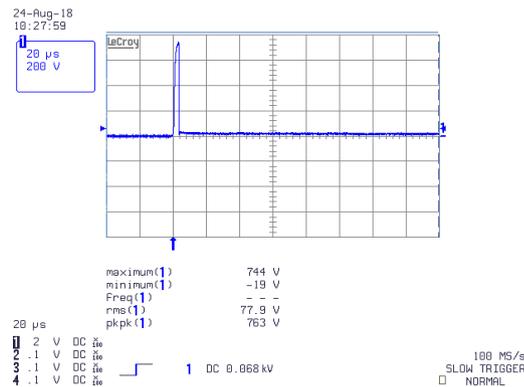


그림 6 GDT 방전개시전압
Fig. 6 Discharge voltage of GDT

방전개시전압을 비교하면 GCA 회로는 GDT보다 288 V 낮은 전압에서 방전되었다. 단순히 744 V와 456 V의 전압의 방전개시 전압차도 큰 차이로 볼 수 있지만 IEC 61000-4-5 국제규격에 의해 내부저항을 2 Ω으로 가정하고 [8] 식 $W_{xt} = V \times A \times t = J$ 을 적용하여 Joule 에너지로 비교하면 GDT는 1.1 J, GCA 회로는 0.3 J로 환산되므로 보호기에 입사되는 에너지 량에서도 큰 차이임을 알 수 있다. 이러한 임펄스 전압은 μs 단위로 발생되기 때문에 저항, 콘덴서, 사이리스터 등 높은 전압에서도 사용할 수 있는 소자나 부품에는 큰 영향을 줄 수 없지만 CPU, Memory, 반도체 등 낮은 전압에서 사용되는 소자, 부품에는 오동작, 소손, 파손 등의 영향을 주기에 충분한 크기이다. 때문에 서지보호기 또는 방전소자의 요구조건으로 낮은 방전개시전압과 빠른 응답시간을 요구하므로 본 소자 및 회로는 요구조건에 효과적인 역할을 한다고 볼 수 있다. 또 변압기의 권선비, 전류제한소자의 종류와 용량에 따라 방전개시전압을 더 낮게 제어할 수 있어 수오자 또는 보호기기의 특성과 용도에 따라 방전개시전압 크기의 설계가 가능하다는 큰 장점을 갖고 있다. 예를 들어 전류제한소자로 콘덴서를 적용할 경우 콘덴서 용량에 따라 방전개시전압을 더 낮게 제어할 수 있다.

콘덴서 용량에 따른 반복실험 결과는 표 2에 나타내었다.

표 2 콘덴서 용량에 따른 방전특성

Table 2 Discharge characteristic according to capacitor capacity

실험횟수	175 pF	0.01 μF	11 μF	22 μF
1	456 V	244 V	104.6 V	70.8 V
2	475 V	219 V	104.6 V	76.5 V
3	463 V	231 V	98.4 V	73.4 V
4	469 V	231 V	99.9 V	74.9 V
5	456 V	225 V	98.4 V	73.4 V
합계	2,328 V	1,150 V	505.9 V	369 V
평균값	465 V	230 V	101.2 V	73.8 V
표준편차	7.1 V	9.3 V	3.2 V	2.1 V

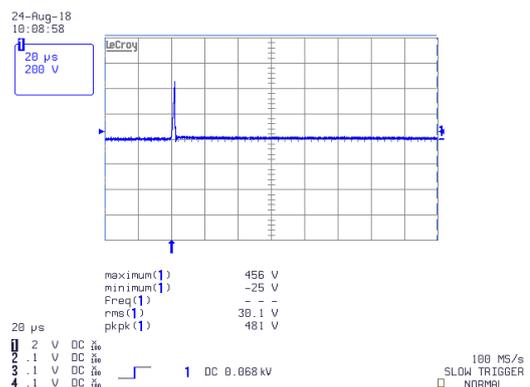


그림 7 콘덴서(175 pF)의 방전전압
Fig. 7 Discharge voltage of capacitor(175 pF)

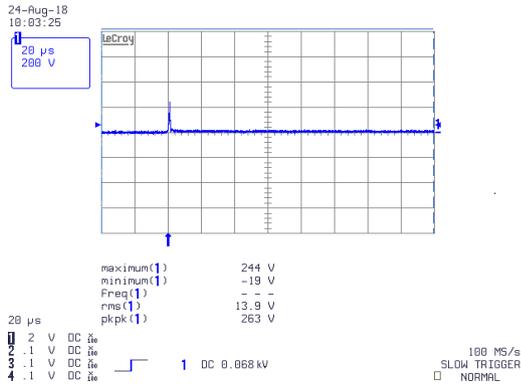


그림 8 콘덴서(0.01 μF)의 방전전압
 Fig. 8 Discharge voltage of capacitor(0.01 μF)

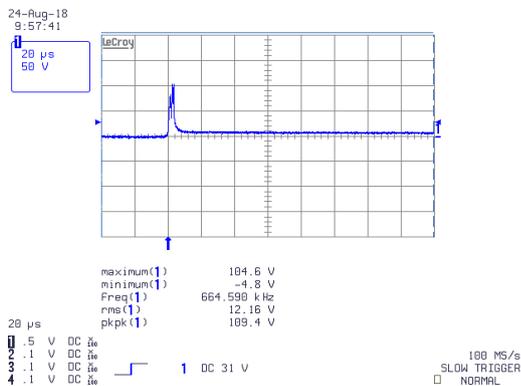


그림 9 콘덴서(11 μF)의 방전전압
 Fig. 9 Discharge voltage of capacitor(11 μF)

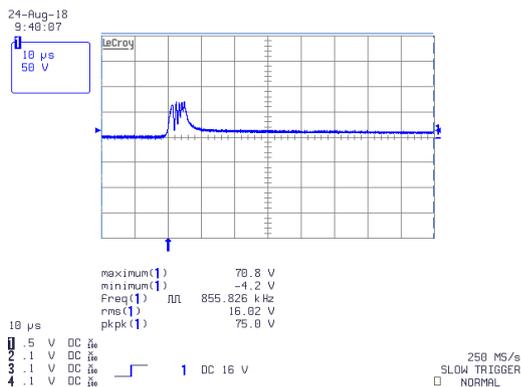


그림 10 콘덴서(22 μF)의 방전전압
 Fig. 10 Discharge voltage of capacitor(22 μF)

그림 7에서 그림 10과 같이 콘덴서 용량에 따라 각각 다른 방전특성을 나타냈었으며 동일조건 반복시험결과 175 pF의 평균방전전압은 456 V, 0.01 μF의 평균방전전압은 230 V, 11 μF의 평균방전전압은 101.2 V, 22 μF의 평균방전전압은 73.8 V에서 방

전되는 특성을 볼 수 있었다. 이를 GDT 시험결과와 22 μF를 사용한 GCA회로의 평균방전개시전압을 비교하면 744 V에서 73.8 V로 약 670.2 V 낮아지고 에너지 량으로 비교하면 1.1 J에서 0.04 J로 약 1.06 J 낮아진다. 콘덴서 용량을 늘리는 방법으로 방전개시전압을 낮추면 회로의 정전용량과 방전시간이 늘어남에 따라 잔류되는 에너지 량이 증가되므로 보호기기의 요구조건에 따른 적절한 설계가 필요하다. 예를 들면 R, C용량에 따른 시정수를 적절하게 조합하여 잔류에너지를 소모할 수 있는 회로를 구성한다면 잔류에너지는 효과적으로 제거될 수 있을 것이다. 실험결과로 판단했을 때 방전개시전압은 다소 높으나 짧은 방전시간을 요구하는 기기의 경우 0.01 μF 콘덴서로 설계함이 적절하고 낮은 방전개시전압을 요구하는 기기의 경우 22 μF 콘덴서로 설계하거나 PTC 등의 Application을 추가하는 것이 적절하다고 볼 수 있다. 이처럼 피 보호기기의 특성과 용도에 따라 서지보호기의 방전개시전압은 매우 중요한 항목이며 GCA 회로는 피 보호기에 필요한 방전개시전압 설계가 가능하므로 보호성능 향상에 매우 중요한 역할을 할 수 있다.

4. 결 론

최근 각종 산업장비, 생산 장비 등의 자동제어는 생산, 운용, 응용에 관한 정보를 초고속 인터넷, 광통신, 기업 네트워크 등의 통신기술과 컴퓨터, 소프트웨어, 멀티미디어 등 정보기술을 융합한 ICT 정보통신기술로 운영되어 활용하고 있다. 하지만, 매우 낮은 전압으로 운영되는 ICT의 핵심소자는 서지전압 또는 방전되지 않은 과도 전압이 입사될 경우 핵심소자의 오동작, 소손, 파손 등의 악영향을 일으키고 기대수명을 단축시킬 것이다. 서지전압은 종류와 크기가 매우 다양하기 때문에 IEEE 1100-2008에서 조차 “May or May Not”, “보호할 수도 있고 못할 수도 있다”고 기록된 것처럼 서지보호기의 신뢰성은 낮은 편이라고 볼 수 있다 [5]. 하지만, GCA 회로를 사용하면 빠르게 입사되는 과도전압을 상승초기에 차단이 가능하고 잔류전압을 매우 낮게 유지할 수 있으며 일반적인 노이즈까지 방전이 가능하므로 서지보호기의 신뢰성을 높일 수 있다. 또한 PTC, 폴리스위치, 제너 다이오드, ZnO 바리스터, TVS 다이오드 등을 병행하여 설계한다면 서지보호기의 제한전압을 더욱 낮추면서 내량을 높일 수 있고 GCA, ZnO 바리스터 등의 방전소자와 리액터, 캐패시터 등의 LC소자를 조합하여 서지전압 입사를 지연하며 방전할 수 있는 회로를 적용하면 전원의 Sine wave에 포함된 Oscillatory, Transients, Voltage Spike 성분까지 제거가 가능하므로 공급전력의 품질향상과 시스템의 수명증대의 효과를 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

References

[1] A study on the Surge Protection of Shipboard Electrical and Electronic Devices, HMOU, Master's degree, park, sung ju, 2010.
 [2] Kostas Samaras, “Electrical Surge-Protection Devices for

Industrial Facilities-A Tutorial Review", *IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRY APPLICATIONS*, Vol. 43, No. 1, JANUARY/FEBRUARY 2007.

- [3] Bok-Hee Lee, Bong Lee, Su-Bong Lee, Sung-Man Kang, "Effects of Lightning Surges on the Life of ZnO Varistors", *KIEE*, Vol. 55, No. 5, 2006.
- [4] R. B. Standler, "Protection of Electronic Circuits from Overvoltage", *John Wiley & Sons, Inc.*, pp. 123-155, 1989.
- [5] IEEE 1100-2005, IEEE Recommended Practice for Powering and Grounding Electronic Equipment, 2005.
- [6] IEEE C62.45, IEEE Recommended Practice on Surge Test for Equipment Connected to Low-Voltage AC Power Circuit, 2002.
- [7] IEC61643-11, Low-voltage surge protective devices - Part11 : Surge protective devices connected to low - voltage power systems-Requirements and test methods, 2011.
- [8] IEC61000-4-5, Electromagnetic compatibility(EMC) - Part4-5:Testing and measurement techniques-Surge immunity test, 2014.

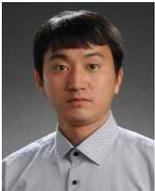


이 대 동 (Dae-Dong Lee)

2002년 우송대학교 전자공학과 졸업. 2004년 한밭대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2014년 한양대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 한밭대학교 전기공학과 공무원 조교.

E-mail : ldd77@hanbat.ac.kr

저 자 소 개



박 근 석 (Keun-Seok Park)

2009년 한밭대학교 전기공학과 졸업. 2011년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2018년 동 대학원 전기공학과 박사과정. 현재 중소조선연구원 책임기술원.

E-mail : kspark@rims.re.kr



최 준 웅 (Jun-Woong Choi)

2005년 금오공과대학교 금속공학과 졸업. 2008년 경북대학교 대학원 금속공학과 졸업(석사). 2015년 부경대학교 대학원 금속공학과 박사 수료. 현재 중소조선연구원 책임기술원.

E-mail : jwchoi@rims.re.kr