

# 저압회로에서의 TVS와 Varistor의 ESD 방지특성 비교

(The comparison of ESD prevention characteristic of TVS with a Varistor at low voltage)

최홍규 · 송영주\* · 이완윤

(Hong-Kyoo Choi · Young-Joo Song · Wan-Yun Lee)

홍익대학교 전기공학과 · (주) 오토닉스

## Abstract

A TVS and Varistor are preservative equipment against electro static discharge(ESD). We use a TVS for I/O protection of a circuit, which has faster response time than a Varistor. And a Varistor has large power capability, therefore, which be used in input stage for internal pressure prevention. This paper will compare a TVS with a Varistor with respect to response characteristic to ESD in DC 24[V] low voltage circuit.

## 1. 서론

근래 고가의 정밀기기 사용이 증가하면서 정전기나 혹은 부하에 의한 Surge 전압으로 인한 피해가 커지고 있다. 특히 기온과 습도 변화에 따른 정전기 발생은 필연적으로 기기의 오동작을 수반하며, 심할 경우 기기 내부의 소자 파손에 이르게 된다.

정전기 방전(Electro Static Discharge : ESD)은 인체로부터 최대 35[kV]까지 대전되는 것으로 알려져 있으며, 50[ns] 이하의 짧은 시간에 15[m] 이하의 방전에너지가 유입된다.[1][2] 따라서 CE 등의 해외 규격에서는 이러한 정전기 방전으로 인한 기기의 오동작이나 고장으로 인한 피해를 막기 위해 대상 기기의 종류와 사용 전원에 따라 방전 전압을 규정하고 있다. 일반적으로 정전기 방전 대책으로는 절연거리 확보가 우선적이며, 다음으로 Varistor나 혹은 TVS를 사용한다. 고속 응답의 제너다이오드의 일종으로 볼 수 있는 TVS는 그 응답 속도가 Varistor에 비하여 빠른 것으로 알려져 있으며, 정밀기기의 입출력 포트나 혹은 저전압 간선의 정전기 방이나 Surge 전압 저감을 위해 주로 사용하고 있다.[3][4] 그러나, 허용 전력치가 최대 1500[W] 정도로 제한되어 있다. 반면에 Varistor는 가격이 저가인 장점을 가지고 있지만 응답 속도가 느린 이유 등으로 정밀기기 등의 과도 입력 전압 저감을 목적으로 입력 필터 전단에 주로 사용하고 있다. 그러나 근래 정전기 방전을 막을 수 있는 전용의 Varistor가 개발되어 사용되고 있다. 본 논문에서는 고속 응답 특성을 가지고 있는 Varistor를 이용하여 정전기 방전 실험을 통해 고속 응답 Varistor의 특성을 파악하고 TVS와 비교한다. 그리

고 비교 결과를 통해 TVS를 대체하여 Varistor를 사용할 수 있는가를 보인다.[5]

## 2. 본론

### 2.1. 정전기 방전

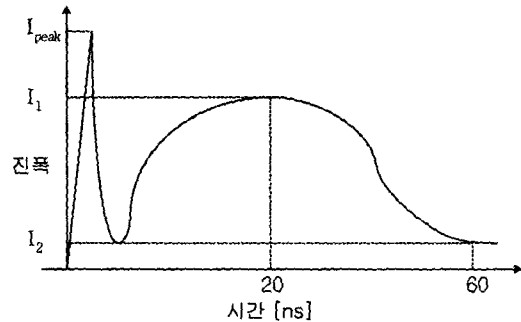


그림 1. 시간에 따른 정전기 방전 파형  
Fig. 1. ESD waveform by time

그림 1은 시간에 따른 정전기 방전 파형을 나타낸 것으로 정전기가 내습하면 10[ns] 이하의 짧은 순간에 최대값 ( $I_{0000}$ )까지 손실을 입고 있다가 20[ns] 이후부터 방전을 시작하여 60[ns]에서 완전히 방전되는 것을 볼 수 있다. 또한 그림 2, 3은 각각 시간과 거리에 따른 전개, 자계의 세기를 나타낸 것으로 정전기 방전 대책은 일정 시간 이내에 확실한 제한 전압 이하로 클램핑되어야 함을 알 수 있다.

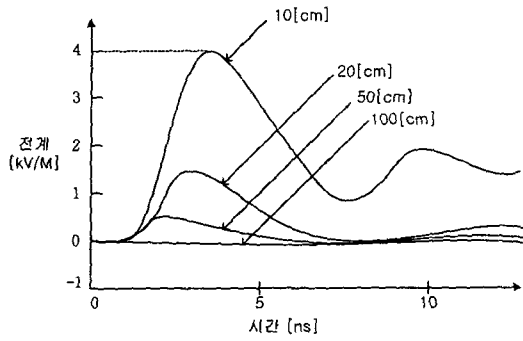


그림 2 시간과 거리에 따른 전기장의 세기  
Fig. 2. Intensity of electric field by time and distance

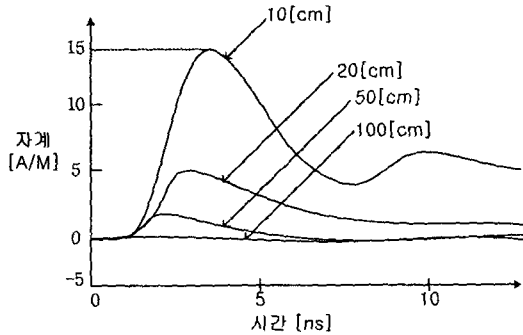


그림 3 시간과 거리에 따른 자기장의 세기  
Fig. 3. Field intensity of magnetic field by time and distance

## 2.2. TVS와 Varistor의 비교

그림 4는 정전기 방전에 대한 이상적인 보호소자와 TVS, Varistor의 전압-전류 특성 곡선을 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 TVS에 비하여 Varistor의 응답 속도가 조금 느리지만, 내습 에너지 허용 내량이 오히려 큰 것을 볼 수 있다.

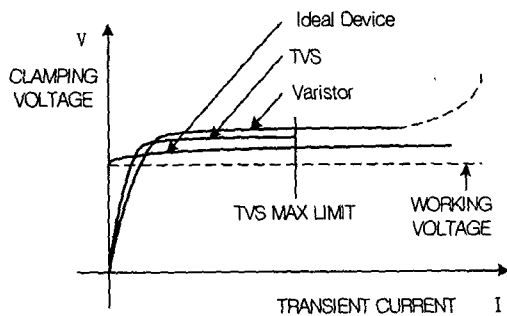


그림 4. 정전기 방전에 대한 이상적인 보호소자와 TVS, Varistor의 전압-전류 특성곡선  
Fig. 4. Voltage-Current characteristic curves of ideal device, TVS and varistor with ESD

### 2.2.1. 피크펄스 허용전력

방전 등으로 인하여 기기에 내습하는 에너지는 결국 보호 소자내의 열로 작용한다. 따라서 과도 상태에서의 열 임피던스(Thermal impedance)는 정상상태의 열 임피던스보다 크며, 이 값은 결국 보호 소자의 최대 접합 온도 보다 낮아야 한다. 그림 4의 이상적인 보호소자, TVS, Varistor의 전압-전류 특성곡선을 통해서 알 수 있듯이 통상적으로 같은 정전기 방전이 내습했을 때 고속 응답 Varistor에서의 열 에너지는 TVS보다 낮다.

### 2.2.2. 클램핑 전압

그림 4의 이상적인 보호소자, TVS, Varistor의 전압-전류 특성곡선을 통해 알 수 있듯이 TVS가 Varistor에 비하여 클램핑 전압이 낮다. 따라서 클램핑 전압이 낮을수록 정전기 방전등의 과도상태로부터의 정밀기기 보호에 더 유리하다.

### 2.2.3. 응답속도

50[ns]이하의 빠른 펄스 형태의 정전기 방전이 내습했을 경우에 보호 장치의 응답속도는 이보다 빨라야 한다. 응답 속도 측면에서는 TVS가 고속 응답의 Varistor보다 빠르다.

### 2.2.4. 누설전류

TVS에서의 누설 전류는 역회복 전압점 아래에서의 동작 전압에서 측정되는 전류로써 극히 낮으며, 고속 응답의 Varistor에서도 역시 낮게 측정되는 것을 알 수 있다.

## 3. 실험

### 3.1. 측정대상

실험장치는 Stepping Motor와 Stepping Motor를 구동하기 위한 24~40[V]의 입력전압 범위를 가지는 Stepping Motor Driver 그리고 전원을 공급하는 SMPS로 구성된다. 사용된 ESD Tester는 EMC PARTNER사의 TRANSIENT-1000으로서 ESD 최저전압 2000V에서 최대 8000V까지 인가할 수 있다. 개략적인 실험장치 구성도는 그림 5와 같으며 측정대상은 SMPS 출력단과 Stepping Motor Driver 전원 입력단 사이(①), 정밀기기인 Stepping Motor Driver(②), Stepping Motor Driver와 Stepping Motor사이(③)를 각각 측정하였다.

본 논문에서는 각각의 측정 대상 중 정전기 방전에 가장 민감한 SMPS 출력단과 Stepping Motor Driver 전원 입력단(①)만을 언급 한다.

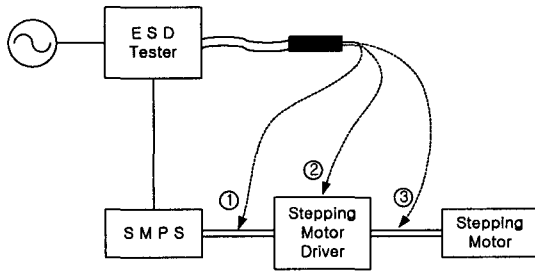


그림 5. 실험장치 구성도  
Fig. 5. Diagram of experimental equipment

### 3.2. 측정방법

측정방법은 다음과 같다. 첫 번째, SMPS 출력단과 Stepping Motor Driver 전원 입력단에 정전기 방전 대책 장치를 설치하지 않고 CE규격 최소 전압  $\pm 2000[V]$ 를 인가하여 Stepping Motor의 정지여부를 판단한다. 두 번째는 정전기 방전 대책 장치인 TVS와 Varistor를 각각 설치한 후 첫 번째 방법을 반복 적용시켜 Stepping Motor의 정지여부를 판단한다. 사용한 TVS와 Varistor의 특성은 각각 다음 표 1, 2와 같다.

표 1. 실험에 사용한 TVS의 파라미터  
Table 1. The parameters of TVS

Reverse stand-off voltage[V]	Max. Clamping Voltage[V]	Peak pulse current[A]
40	49.1	9.3

표 2. 실험에 사용한 Varistor의 파라미터  
Table 2. The parameters of Varistor

동작 전압		Max. Surge current Is[A]	Max. Surge energy[J]	Max. Varistor voltage[V]
AC[V]	DC[V]			
30	42	100	0.4	56

### 3.3. 측정결과

표 1, 2의 정전기 방전 대책 부품을 사용하여 실험한 결과는 다음과 같다.

그림 6은 정전기 접촉 방전을 인가하지 않은 상태에서 Stepping Motor Driver의 전원 입력단의 파형을 관측한 것으로 Stepping Motor가 정상적으로 동작하고 있음을 알 수 있다.

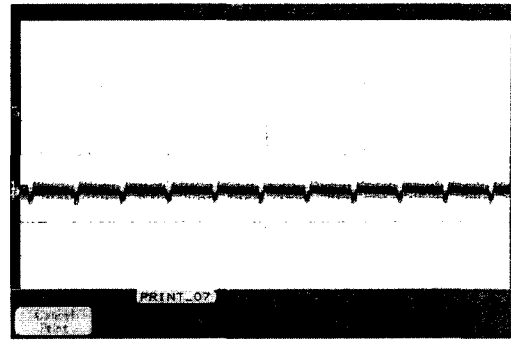


그림 6. 정전기 방전을 인가하지 않은 상태에서의 Stepping Motor Driver 전원 입력단 파형  
Fig. 6. Waveform of input without ESD

그림 7과 8은 SMPS의 출력단과 Stepping Motor Driver 전원 입력단 사이에 아무런 정전기 방전 대책 장치를 적용하지 않고 각각  $\pm 2000[V]$ 의 정전기 방전을 인가한 경우의 전원 입력단 파형이다. 정상동작한 상태에서 얼마 후 정전기 방전의 영향으로 인하여 Stepping Motor가 정지해 버리는 것을 알 수 있다.

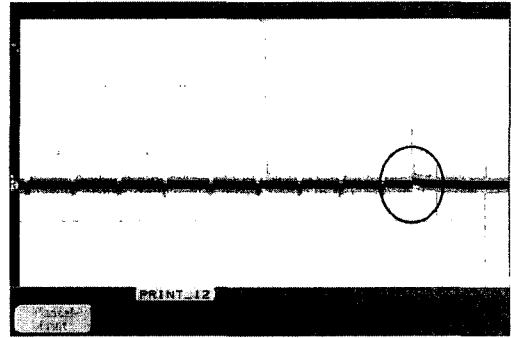


그림 7. 2000(V) 음정전기 방전을 인가한 상태에서의 Stepping Motor Driver 전원 입력단 파형  
Fig. 7. Waveform of input with ESD of -2000(V)

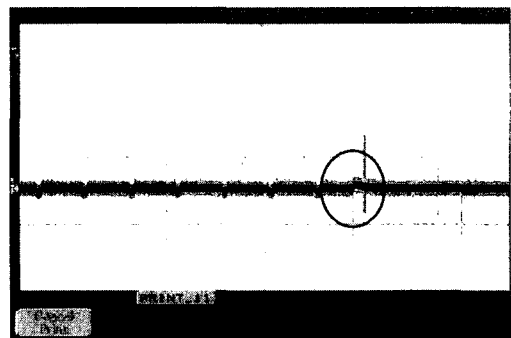


그림 8. 2000(V) 양정전기 방전을 인가한 상태에서의 Stepping Motor Driver 전원 입력단 파형  
Fig. 8. Waveform of input with ESD of +2000(V)

그림 9는 SMPS의 출력단과 Stepping Motor Driver 전원 입력단 사이에 TVS를 적용하고 2000[V]의 음정전기 방전을 인가한 경우의 전원 입력단 파형이다. 파형에서도 알 수 있듯이 Stepping Motor가 정상적으로 동작하고 있다.

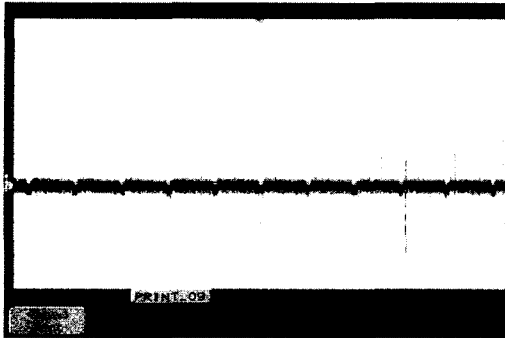


그림 9. 2000[V] 음정전기 방전을 인가한 상태에서의 Stepping Motor Driver 전원 입력단 파형  
Fig. 9. Waveform of input with ESD of -2000[V]

또한 그림 10은 그림 9의 상황에서 2000[V]의 양정전기 방전을 인가한 경우의 파형으로 Stepping Motor가 정상적으로 동작하고 있음을 알 수 있다.

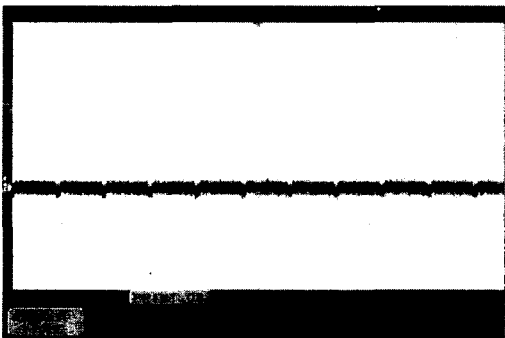


그림 10. 2000[V] 양정전기 방전을 인가한 상태에서의 Stepping Motor Driver 전원 입력단 파형  
Fig. 10. Waveform of input with ESD of +2000[V]

그림 11은 SMPS의 출력단과 Stepping Motor Driver 전원 입력단에 Varistor를 적용하고 2000[V]의 음정전기 방전을 인가한 경우의 전원 입력단 파형으로 그림 9와 비교하여 많은 정전기 방전 파형이 나타나는 것을 볼 수 있다. 그러나 본 논문에서 사용한 고속응답 Varistor는 TVS보다 응답속도가 느리고 클램핑 전압도 높지만 정전기 방전에 견딜 수 있는 큰 내량 특성을 소지하고 있어 Stepping Motor가 정상적으로 동작하고 있음을 알 수 있다.

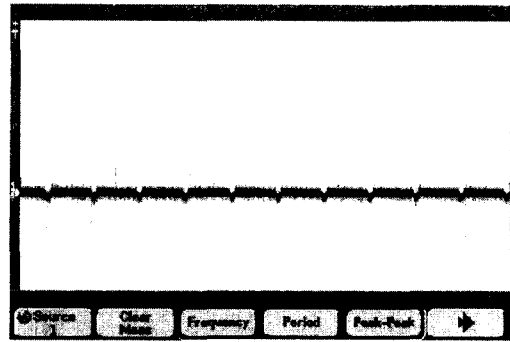


그림 11. 2000[V] 음정전기 방전을 인가한 상태에서의 Stepping Motor Driver 전원 입력단 파형  
Fig. 11. Waveform of input with ESD of -2000[V]

그림 12는 Varistor를 부과한 상태에서 양정전기 방전을 인가한 경우의 파형으로 역시 Stepping Motor가 정상적으로 동작하고 있음을 알 수 있다.

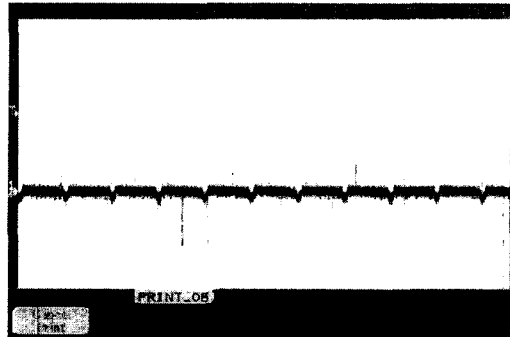


그림 12. 2000[V] 양정전기 방전을 인가한 상태에서의 Stepping Motor Driver 전원 입력단 파형  
Fig. 12. Waveform of input with ESD of +2000[V]

#### 4. 결론

정전기 방전에 대한 대책으로는 기본적으로 절연거리 확보이며, 다음으로 고속의 체너 특성을 가진 TVS를 적용하는 것이 일반적이었다. 하지만, 고속 응답 특성을 가진 Varistor의 개발로 인하여 TVS에 비하여 비교적 큰 용량을 요구하는 분야에 적용이 가능하게 되었다.

본 논문에서는 24[V]의 입력 전압을 필요로 하는 정밀기기와 SMPS 출력단 사이에 TVS와 Varistor를 각각 적용하고, 이에 대하여 정전기 방전 실험을 실행하였다. 결과적으로 TVS에 비하여 고속 응답의 Varistor를 정전기 방전 대책으로 적용하여도 TVS를 사용하였을 때와 같은 성능을 가지는 것을 보였다.

## 참 고 문 헌

- [1] HARRIS, "Suppression of Transients in an Automotive Environment", Application note, 1999. 6
- [2] Littelfuse, "ESD Suppression Technologies", Application note, 2002. 1
- [3] Bin Yu, etc., all, "Punchthrough Transient Voltage Suppressor for EOS/ESD Protection of Low-Voltage IC's", Journal of Electrical Overstress/Electrostatic Discharge Symposium Proceedings, Volume 2, pp 27~33, 1995. 9
- [4] Ahmad M. Fallah, etc., all, "Effect of Lead Length on the Response of ESD Protection Devices", Conference of Electromagnetic Compatibility, Volume 2, pp 998~1003, 1999. 8
- [5] David W. Hutchins, etc., all, "Transient Voltage Suppressor(TVS) And Filter Combination Surface Mount Product", Conference of Electromagnetic Compatibility, Volume 2, pp 999~1003, 1998. 8