

# 다중차폐 방식을 이용한 내뢰전원 장치의 뇌 서지 방호특성

최 봉 일  
신아전기공업(주) 전무이사

## 1. 서론

최근 일렉트로닉스의 급속한 기술혁신은 반도체를 이용한 컴퓨터 기기 및 시스템의 발전과 보급을 확대시키고 있으며 더욱더 발전하는 고도정보화 사회에 있어서 교통, 통신, 항공 등에 관련된 각종·데이터를 집중적으로 감시 제어하는 정보화 네트워크 시스템이 손쉽게 구축되고 있다.

이러한 복잡하고 고도화된 각종 반도체 응용 시스템들은 그 자체의 신뢰성과 함께 외부적인 트러블(뇌 서지, 노이즈, 순시전압강하)로부터 여하한 영향도 받지 않고 충분히 그 기능을 발휘하는 것이 중요하다.

이러한 트러블 중에서도 뇌 서지의 영향은 빌딩의 인텔리전트화 및 고층화에 동승하여 뇌의 직격을 받을 기회도 많고 근방 낙뢰의 경우에도 건물 자체에 수직, 수평방향으로 커다란 유도 서지 전압·전류를 발생시키기도 하며, 각 접지점의 불규칙한 대지전위 상승 등에 의해 반도체 시스템을 위협하고 있다.

특히 뇌에 의한 피해는 주요기기의 파괴손상으로 부터 야기되는 유형, 무형의 피해를 헤아리기 어렵고, 그 내뢰대책상 더욱더 곤란해지고 있다.

종래부터 뇌 서지에 대하여는 여러 종류의 방호대책이 강구되어 오고 있으나 아직도 충분치 않은 실정이며, 이러한 뇌 서지로부터 근대화된 고층빌딩의 사무실, 공장 등의 반도체 응용기기 및 네트워크 시스템을 방호하는데 효과적인 당사 신제품인 다중차폐 내뢰전원장치를 중심으로 뇌 서지 방호특성에 대하여 설명하고자 한다.

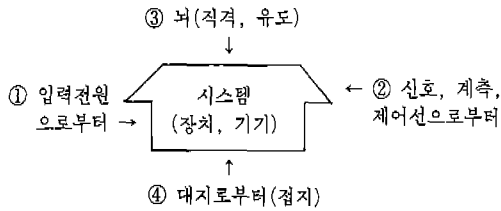
## 2. 뇌 서지의 침입경로

시스템(기기)의 뇌 서지에 대한 보호대책을 검토하는 경우, 우선 침입경로를 분명하게 할 필요가 있다.

그림 1은 시스템에 뇌 서지가 침입하는 경로를 나타내고 있다.

### ① 입력전원으로부터

근방의 낙뢰에 의하여 저압배전선에 침입하거나, 인입구 부근에 설치된 고압뢰피기의 동작에 의한 방전전류에 의해 대지의 전위가 상승하여 이것이 제 2 접점지로부터 저압배전선에 침입하거나, TV 안테나의 직격에 의해 수신기를 파괴하



〈그림 1〉 뇌 서지의 침입경로

면서 전원에 침입하여 오는 등, 전원선을 통하여 뇌 서지가 시스템에 들어온다.

② 신호, 계측, 제어선으로부터

외부로부터 들어오는 신호선 등의 근방에서 뇌 방전이 있으면 뇌 서지가 유도되든가, 옥외에 설치된 센서나 제어기기 근방의 낙뢰 등에 의해 뇌 서지가 신호선 등을 전달하여 시스템에 들어온다.

또, 낙뢰에 의한 대지전류에 의하여 대지의 전위는 대단히 높아지지만, 이 낙뢰점 부근에 지중선이 있으면 이 지중선의 신호선에도 높은 전위의 서지가 유도된다.

③ 뇌(직격, 유도)로부터

건물 옥상에 있는 피뢰침에 낙뢰가 있으면 건물 전체의 전위가 높아진다.

이 때, 뇌 서지가 대지에 흐르는 시간에 좌우되나, 각 층간에는 전위차가 발생한다. 실내의 전기배선은 우회하기도 하므로 건물의 장소에 따라서는 전기배선과 건물과의 사이에 전위차가 발생하는 일도 있다.

④ 대지로부터

대지는 영전위이고 접지하여도 그 점은 영전위가 된다고 생각하는 사람이 많지만 토양의 고유 저항은 뇌격의 순간 금속체의 수심~수천배에 달하는 반도체의 성질을 지니고 있다.

따라서 건물이나 피뢰침에 낙뢰하여 대지에 커다란 뇌전류가 흐르면 그 부분의 전위는 높은치를 기록하며 부근에 시스템의 접지가 있으면 그 접지선을 통하여 역으로 시스템으로 들어간다.

### 3. 내뢰대책의 개념

뇌의 유도, 차단개폐기의 개폐서지 또는 낮은 레벨의 과전압에서조차 파손 혹은 오동작을 일으키는 반도체 시스템에 있어서는 하나의 내뢰기나 소자로 이들 장치를 보호하는 것은 불가능하며 각각의 능력에 맞는 과전압과 에너지 처리에 대한 합리적인 분담이 필요하다.

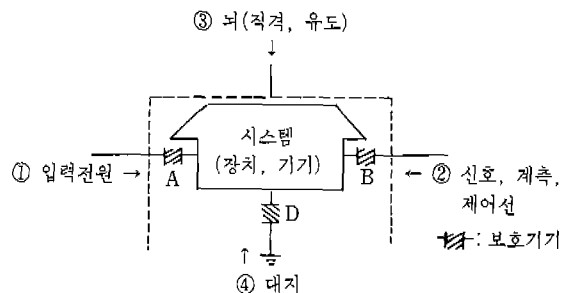
이 때문에 뇌 서지 에너지와 과전압은 여러 단계의 대책을 중첩하여 여러 단계를 거치면서 저감시켜 억제하는 것이 바람직하다.

#### 가. 내뢰대책의 기본적 개념

그림 2에 표시한 뇌 서지의 침입경로 중 옥상의 피뢰침 이외에 직격을 받는 경우 현재로서는 이것에 견디는 보호기기가 없다.

피뢰침에 떨어진 뇌전류는 되도록이면 빠르게 시스템의 접지로부터 이격된 장소로 방류된다.

특히 피뢰침으로부터의 접지선을 단지 한본으로 하지 않고 가능한 한 많이 병렬로 하고, 이에 더하여 건물전체에 돌리는 것은 이 접지선의 서



〈그림 2〉 내뢰대책의 개념

지 임피던스를 저하시켜 뇌에 의한 건물의 전위 상승을 저하하는 것에 효과적이다.

이상의 대책을 세워도 옥상으로부터의 뇌 서지 침입을 실제로 완벽하게 저지할 수는 없으므로, 시스템을 보호하는데는 그림 2에 표시한 것처럼 입력전원으로부터의 서지는 A에 의해 저지하고, 신호선으로부터의 서지는 B에 의해 저지, 그리고 접지선으로부터 시스템에 침입해 오는 서지는 D에 의해 저지하는 수단을 강구하여 시스템 전체를 건물과 같은 전위(동전위)로 하는 수단을 강구할 필요가 있다.

## 나. 내뢰 보호장치의 분류

뇌 서지 방호소자 또는 장치는 동종 제품만도 광범위하여 모두 설명하기가 어려우므로 그 대책상 특성에 결맞는 소자들을 나열하기로 한다.

### ① 1차대책

빌딩에 직격한 뇌전류 또는 그것에 버금가는 정도의 에너지를 처리하는 대책

- a) 피뢰침, 피뢰도선, 접지용 도선, 접지극
- b) 특고압 수전설비용 피뢰기, 고압전선용 피뢰기
- c) 광 파이버 케이블(뇌 서지 에너지를 처리하는 것은 아니나 직격뢰에 맞아도 지장없이 신호전송이 가능하다)

### ② 2차대책

1차대책에서 잔류한 서지 에너지를 저감시킬 목적으로 주로 전원선로, 통신선로에 설치한다.

- a) 저압 전원용 피뢰기(P밸브 피뢰기, 산화아연형 피뢰기)
- b) 방전갭(진공갭 피뢰기, 가스피뢰기, 세라믹 피뢰기)
- c) 동축피뢰기

### ③ 3차대책

전원선, 신호선에 설치하는 최종 대책품으로 2차와 4차에 의해 보호협조가 성립할 때는 생략이 가능하다.

- a) 산화아연형 배리스터, 서지 업소버
- b) 서지, 노이즈 필터
- c) 노이즈 컷 트랜스, 실드 트랜스, 내뢰 트랜스

### ④ 4차대책

3차대책의 과전압 레벨이 반도체 회로에 잠입하면 견디지 못하는 것으로 반도체기기 내부 및 기관에 설치하는 것

- a) 실리콘 배리스터
- b) 제너다이오드
- c) 애벌런시 다이오드

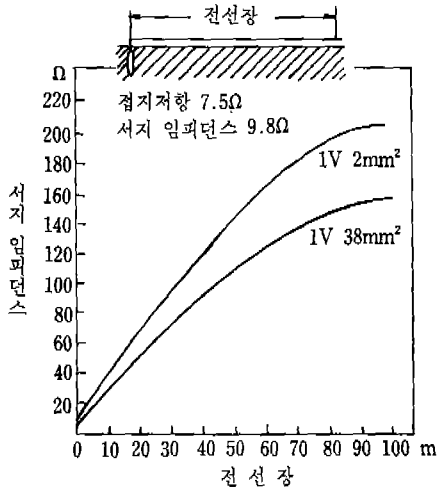
## 4. 종래 보호기기의 문제점

기기의 전원회로와 접지(외함) 및 신호선간에 피뢰기 등의 보호기기를 설치하여 그것의 동작으로 기기의 내부회로와 외함(접지)간에 가해진 뇌 서지를 기기 자체의 서지 내전압(5kV 정도) 이하로 하는 것이 종래의 내뢰대책이며 그 소자로서 피뢰기 및 내뢰 트랜스가 가장 널리 사용되고 있다. 본 장에서는 그러한 대책품의 문제점을 설명하고자 한다.

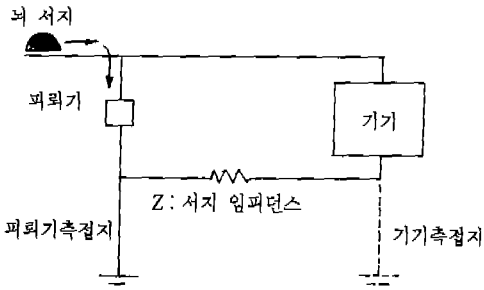
### 가. 피뢰기에 의한 내뢰대책의 문제점

피뢰기와 기기와의 접지선을 배선할 경우, 피뢰기와 기기와의 거리가 1~2m로 짧은 경우는 문제가 없으나 10m 정도로 되면 그림 3에 표시한 서지 임피던스를 무시할 수가 없고, 피뢰기 측에 접지하는가 기기측에 접지하는가에 따라 그 효과는 차이가 나게 된다.

또한 고조파 노이즈에 대한 방호대책을 갖추지



<그림 3> 전선장에 의한 서지 임피던스의 영향



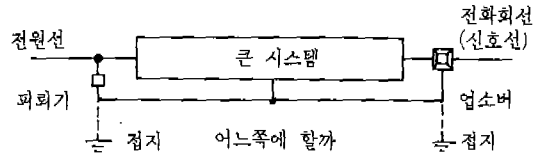
<그림 4> 피뢰기의 접지위치

못했다는 것이 피뢰기의 단점이다.

예를 들어 어떤 서지 임피던스(Z)의 배선에 피뢰기의 방전전류( $I_a$ )가 흐르면  $Z \times I_a$ 의 전위가 발생하여 이것이 기기에 가해지게 된다.

서지 임피던스와 방전전류가 크면 기기에 따라서는 위험이 되며, 그림 4의 경우 서지 임피던스의 영향을 작게 하는데에는 당연히 피뢰기측에 접지하는 것이다.

그러나 그림 5처럼 커다란 시스템일 경우는 아무래도 피뢰기의 배선이 길어지게 되므로 결과적



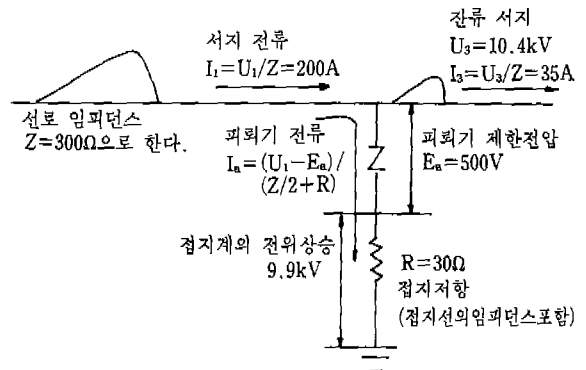
<그림 5> 큰 시스템의 경우 접지위치

으로 서지 임피던스에 의한 전위가 높아져 컴퓨터 등의 반도체 응용기기의 보호에는 한계가 있다.

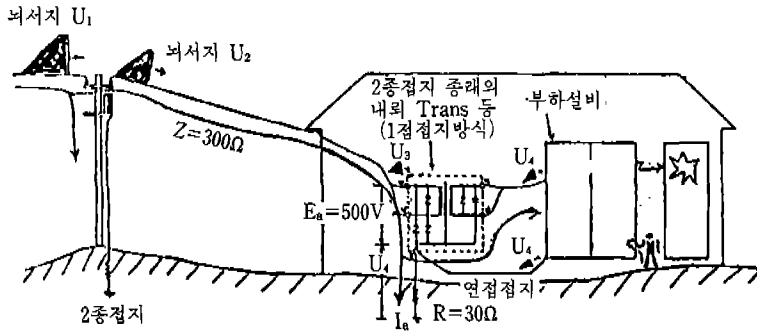
그림 6은 선로에 침입한 뇌 서지를 피뢰기에 의해 억제시킨 예를 보여준다.

이 예에서 60kV, 200A라는 침입 뇌 서지를 피뢰기의 방전에 의해 약 10kV, 35A로 억제함으로써 뇌 서지 에너지의 97%를 대지에 흘려 3%로 저감시킨 효과를 발휘하고 있으나, 선로에는 아직도 약 10kV의 서지 전압이 잔류하여 저전압 회로에는 위험을 준다.  $E_a$ 는 피뢰기의 제한전압이며, 어느 정도 고성능 피뢰기를 사용하여도 큰 차는 없고, 잔류전압의 대부분은 점지저항과 접지선의 전위상승에 의한 것이다.

참고로 이 예에서 점지저항이 30Ω에서 10Ω으로 저감되었다고 하면 잔류하는 서지 전압은 4.2



<그림 6> 침입한 뇌 서지의 피뢰기에 의한 억제



<그림 7> 내뢰트랜스에 의한 내뢰대책

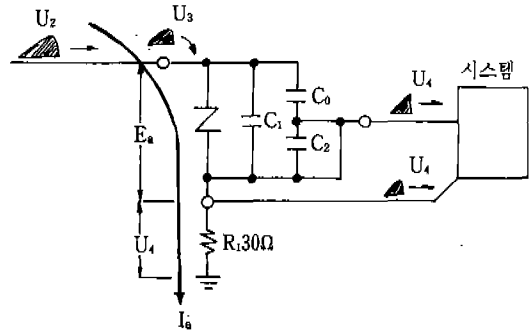
kV로 낮아진다. 그러나 아직도 반도체 기기의 보호측면에 있어서는 조금 먼 값이다. 이와 같이 접지선 및 그 근방의 대지전위는 현저히 높은 값으로 된다. 접지극에 직격전류와 같은 몇만A의 큰 전류가 흘러 들어온 경우는 대지 및 접지선의 전위는 엄청난 값으로 되어 버린다.

#### 나. 내뢰 트랜스에 의한 내뢰대책의 문제점

내뢰트랜스란 실드트랜스에 피뢰기 및 콘덴서를 조합한 것으로 뇌 서지에 대하여 높은 감쇄성능으로 시스템(기기)을 보호한다.

내뢰트랜스는 실드트랜스를 뇌 서지 전압으로부터 보호하기 위해 입력측 피뢰기의 접지와 출력측 접지를 접속함으로써, 입력측의 피뢰기에 의해 방류된 뇌 서지 전류와 접지저항의 곱에 의한 전압상승이 그대로 출력측에 이행하게 된다. 그림 7 및 그림 8에서는 60kV의 뇌 서지 전압이 입력측에 침입했을 때 피뢰기의 동작으로 약 10kV까지 감쇄하지만 이 감쇄된 서지가 그대로 부하설비에 이행하는 것을 보여주는데 이는 그림 6에 보이는 피뢰기에 의한 내뢰대책과 커다란 차이가(500V 낮게 할 뿐) 없다.

내뢰트랜스를 설치해도 여전히 반도체를 응용한 전기설비가 뇌 서지에 의해 파괴될 수밖에 없



주) Z: 선로와 임피던스를 모의한 것

$$I_a = \frac{2 \times U_2 - E_a}{Z + R_1} = \frac{2 \times 60 \text{ kV} - 500 \text{ V}}{300 \Omega + 30 \Omega} = 362 \text{ A}$$

$$U_4 = I_a \times R_1 = 362 \text{ A} \times 30 \Omega = 10.8 \text{ kV}$$

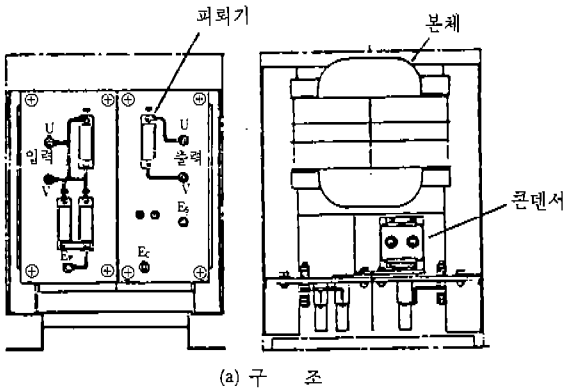
$$U_3 = U_4 + E_a = 10.8 \text{ kV} + 500 \text{ V} = 11.3 \text{ kV}$$

<그림 8> 내뢰트랜스에 의한 내뢰대책의 등가회로

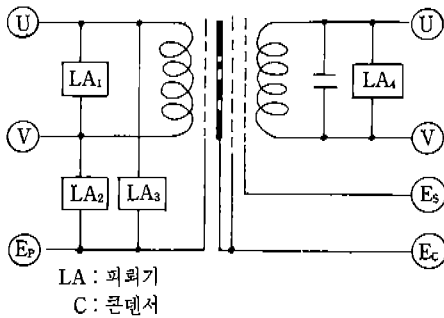
는 것은 내뢰 트랜스에서는 뇌 서지의 침입을 확실히 방호할 수가 없기 때문이다.

그림 6과 같이 피뢰기를 설치하여도 접지점의 전위상승은 10kV 이상이 될 가능성이 있지만 내뢰 트랜스에 사용하고 있는 실드 트랜스의 뇌 서지에 대한 내전압은 10kV(1.2/50μs) 정도이다.

이 때문에 실드 트랜스를 뇌 서지로부터 보호하기 위해 입력측의 피뢰기 접지와 실드 트랜스의 접지 및 부하측 기기의 접지를 접속하여 실드 트랜스에는 피뢰기의 제한전압  $E_a$ 만 가해지도록 하고 있다.



(a) 구조



(b) 회로구성

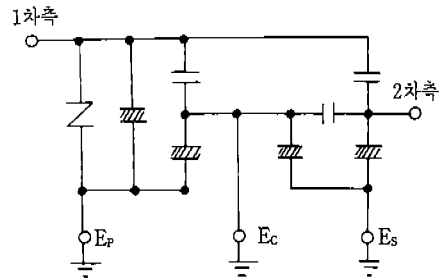
<그림 9> 다중차폐 내뢰전원장치의 구조 및 회로구성

이것으로 실드 트랜스의 실드의 전위는 영으로 는 되지 않으므로 실드의 효과는 없다. 더구나 접지점의 전위상승이 그대로 부하측 기기에 가해 지므로 피뢰기에 의한 내뢰대책의 문제점과 같은 문제점이 발생하는 것으로 해석된다.

## 5. 다중차폐 내뢰전원장치의 내뢰 동작 특성

### 가. 다중차폐 내뢰전원장치의 구조

동 장치는 그림 9 및 그림 10 과 같이 입력측 권선에 침입한 뇌 서지를 피뢰기에 의해  $E_p$  접지를 통하여 대지로 방류하여 트랜스에 가해지는 서지 전압을 저감한다.



▨ : 수백 pF ~ 수천 pF

▬ : 수 pF ~ 수십 pF

<그림 10> 등가회로

이 때  $E_p$  접지의 전위는 방전전류와  $E_p$  접지 저항의 곱에 의해 내뢰 트랜스의 경우와 같이 고전위가 되므로  $E_p$  접지와  $E_c$  접지간의 절연을 고절연구조(30kV 뇌 임펄스 전압에 견디는)로 하고 있다.

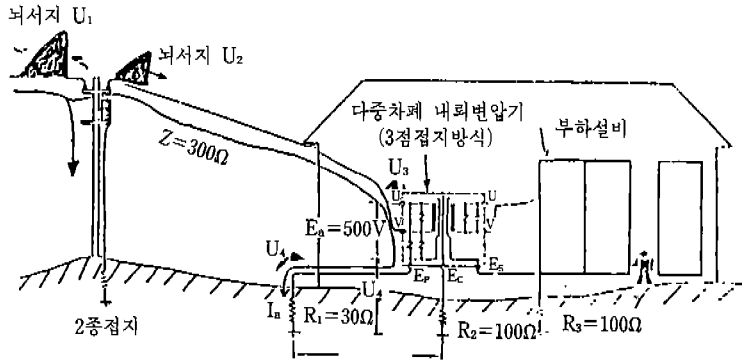
또, 출력측 권선과  $E_s$  접지 및  $E_c$  접지간의 절연도 부하측으로부터의 뇌 서지 침입을 고려하여 고절연 구조로 하고 있다.

이 때문에  $E_p$  접지로부터  $E_c$ ,  $E_s$  접지 및 부하측을 독립시킬 수가 있고,  $E_p$  접지의 전위상승을  $E_c$ ,  $E_s$  접지에 의해 다중으로 차폐하여 출력측 권선으로 뇌 서지의 이행을 대단히 작게 하고 있다(1/1000 이하).

### 나. 다중차폐 내뢰전원장치의 동작특성

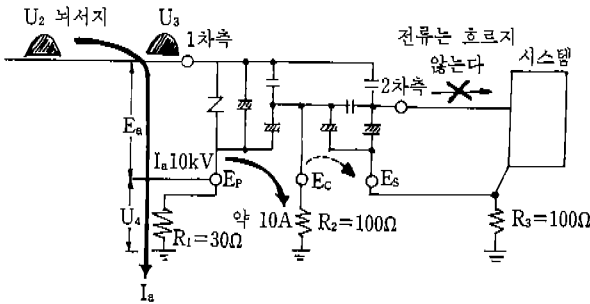
전원측으로부터 뇌 서지가 침입했을 때 동 장치의 동작을 그림 11 과 12에 보인다.

60kV의 서지 전압이 입력측에 침입했을 때 피뢰기의 동작으로 약 10kV까지 감쇠한다. 이때  $E_p$  접지의 전위는 약 10kV로 되며, 이 전위가  $E_p$  접지와  $E_c$  접지간의 정전용량에 의해  $E_c$  접지에 침입하기 때문에  $E_c$  접지의 전위는 침입한 서지



〈그림 11〉 다중차폐 내뢰전원장치에 의한 내뢰대책

전류와  $E_c$  접지저항의 곱에 의해 상승(수100V 정도)한다.

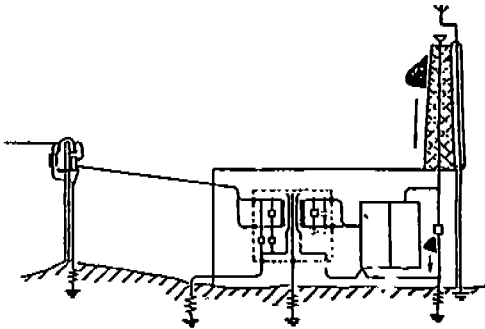


〈그림 12〉 다중차폐 내뢰전원장치에 의한 내뢰대책의 등가회로

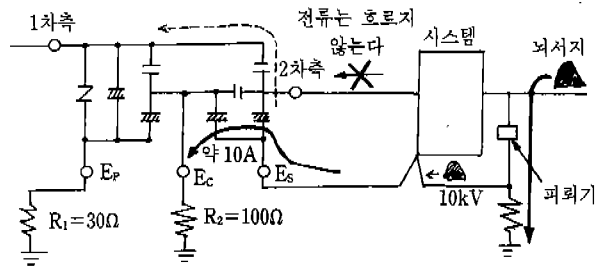
$E_s$  접지의 전위는  $E_p$  접지의 전위가  $E_c$  접지와  $E_s$  접지간의 정전용량에 의해  $E_s$  접지에 침입하는 전류와  $E_s$  접지저항과의 곱으로 발생하지만 3 점 접지에 의해 그 값은 극소로(수V 정도) 되어 결과적으로 뇌 서지의 침입을 1/1000 이상으로 감쇠하는 것이 가능하다.

부하측으로부터 뇌 서지가 침입하였을 때 동 장치의 동작을 그림 13, 14에 표시한다.

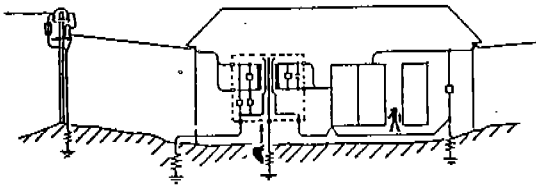
부하측으로부터 뇌 서지가 침입할 경우에 있어서도 동 장치의 3점 접지에 의해 뇌 서지의 전원측으로 이행이 감쇠되기 때문에 시스템(기기)에는 부하측의 피뢰기 제한전압밖에 가해지지 않아 보호가 가능하다.



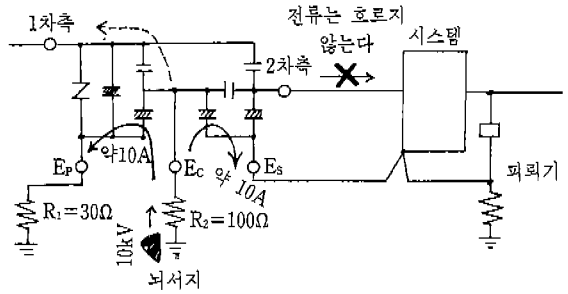
〈그림 13〉 부하측으로부터의 뇌 서지 침입의 경우



〈그림 14〉 부하측 뇌 서지 침입시 등가회로



<그림 15> 접지로부터 뇌 서지가 침입할 경우



<그림 16> 접지로부터의 뇌 서지 침입시 등가회로

접지로부터 뇌 서지가 침입한 경우 동 장치의 동작을 그림 15, 16에 표시한다.

접지측으로부터 뇌 서지가 침입할 경우에 있어서도  $E_c$  접지로부터 침입된 뇌 서지를  $E_p$  접지 및  $E_s$  접지의 차폐효과에 의해 전원측 및 부하측으로의 이행이 감소되어 시스템(기기)이나 전원측의 기기를 보호할 수 있다.

#### 다. 다중차폐 내뢰전원장치의 서지 감쇠 특성

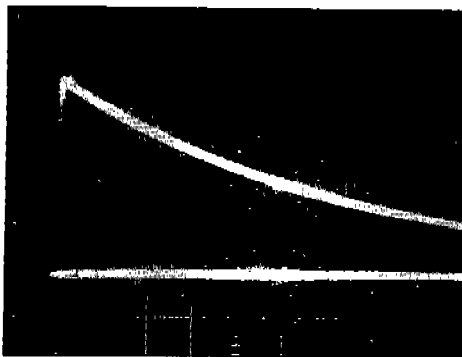
동 장치의 감쇠특성시험결과 임펄스성 대지간 서지(커먼모드)에 대한 감쇠특성은 그림 17처럼 1/10,000 이상(시험치: 1/20,000)이며 저레벨의 선간 노이즈(노멀모드)에 대해서는 대략 1/1,000~1/7,000의 감쇠비로 우수한 감쇠특성을 지니고 있으며 그림 18처럼 고주파 노이즈에 대

하여도 월등히 우수한 주파수 응답특성을 보이고 있다.

동 장치에 대해 국내·외적으로 뚜렷한 규격은 없으나 일본 NHK 방송국에서 규정하고 있는 유사제품의 서지 감쇠규격은 커먼모드에서 1/100, 노멀모드에서 1/10 이상으로 규정하고 있다.

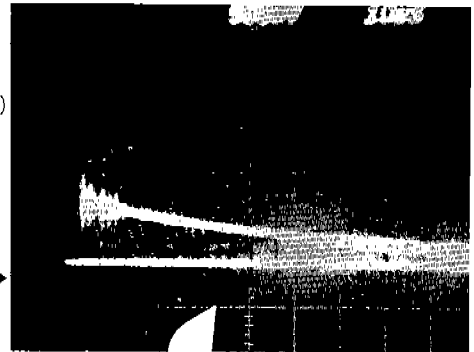
### 6. 결론

이상과 같이 반도체 시스템을 뇌 서지로부터 보호하려는 많은 대책을 시도하고 있으나, 뚜렷한 효과없이 수포로 돌아가 버리는 것은 근본적으로 대다수가 뇌 서지를 전원선과 신호선으로만 침입한다고 생각하고 있기 때문이다.



◀ 시험전압파형  
: 10kV 1×40μs  
(2.5kV/div 10μs/div)

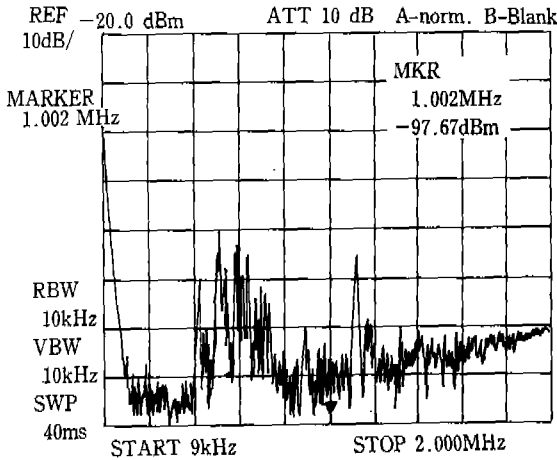
▶ 출력측 측정전압파형  
0.7kV :  
(500mV/div 10μs/div)



서지 감쇠량 =  $20 \times \log 0.7V/10kV = -83dB(1/14,286)$

<그림 17> 단상 20kVA 임펄스 감쇠특성시험 결과치





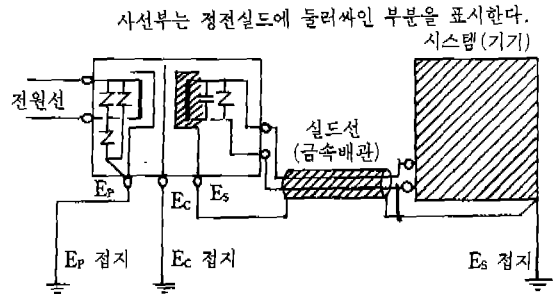
〈그림 18〉 단상 20kVA 주파수 응답특성

빌딩에 뇌의 직격이 있었을 때 빌딩의 철골, 바닥, 기둥, 벽 등이 가장 높은 전위가 되며, 따라서 바닥을 통하여 반도체 장치의 외함에 최고의 높은 전위가 침입하게 된다.

또 고층빌딩의 경우는 근방낙뢰시에도 그러한 경향을 보이는 경우가 많다.

또한 빌딩으로 들어오는 전원선 및 통신선은 거의가 지중을 통하므로 뇌 서지에 무관하다고 경시하는 경우가 많으나 뇌의 대지전류는 지중의 얇은 곳을 통하여 수 km 이상에 걸쳐 사방으로 확산되어 가므로 이 때 뇌격점 및 그 근방의 대지전위가 높아지게 되어 그곳에 접속한 지중케이블로부터 뇌 서지가 유도되어 장치나 시스템으로 유입된다. 이러한 이유로 전술한 여러 보호소자에 의한 대책에도 불구하고 효과적인 대책이 어려운 것이다.

빌딩은 철골에 의해 둘러싸인 동전위망을 형성하고 있기 때문에 뇌의 직격이 있어도 빌딩의 각부에 상대전위차는 발생하지 않아 안전하다고 생각되지만 상당히 높고 넓은 면적이기 때문에 각부의 전위가 균등하게 되는데에는 시간을 요한



〈그림 19〉 다중차폐 내뢰전원장치에 의한 국부 동전위화

다.

이 때문에 낙뢰직후 뇌전류의 파두부에서는 각층간, 같은 층에서도 양단간에는 전위차가 발생한다. 이 전위차가 빌딩의 각층에 설치된 시스템(기기)의 전위차가 되기 때문에 여러 가지의 장애가 발생하는 것이다.

따라서 근본적인 뇌 서지 대책은 장치나 시스템을 동전위화(영전위화) 시키는 것으로서 그 대책은 그림 19와 같이 시스템(기기)의 외함과 전원배선의 금속실드 및 등 장치의 출력권선을 실드하고 있는  $E_3$  접지를 접속함으로써 시스템 전체를 금속체로 둘러싸인 모양의 국소용적의 정전실드 공간을 구성하고, 그리고 시스템의 설치위치를 시스템의 외함접지위치로 한다.

이렇게 하면 이 국부동전위화된 국소용적의 내부에 전원선, 신호선 및 접지선을 통하여 침입 또는 관통하여 가려고 하는 뇌 서지를 차단할 수가 있으며, 결과적으로 내부시스템은 뇌 서지의 영향으로부터 보호된다.

현재로서는 이 방식이 뇌 서지 보호에 가장 발달한 효과적인 것으로 확신한다.

결국 동 전원장치를 다중차폐한 것은 단순히 이중권선간의 차폐효과를 올릴 목적보다는 접지로부터 침입하는 서지를 근본적으로 차단하여 부하측에서 접지의 점에 관계없이 동전위화를 피할 수 있도록 설계한 것이다.