

자동화설비의 Surge 및 Noise 대책 (I) (생산 현장의 사례를 중심으로)

유 상 봉 (용인송담대학 전기과 교수/필승비전·건축전기설비·전기응용·전기안전·소방설비 기술사)

1. 서 론

근래 생산현장에 CIM, FA화에 수반하여 PLC, DCS, Inverter, Robot 등 각종 자동화 설비가 도입됨에 따라 Power Quality의 중요성이 무엇보다 크게 대두되고 있다.

또한 이러한 자동화기기에는 전원 안정화를 위하여 UPS나 AVR이 필수적으로 설치되어 있는데, 이러한 자동화 System은 거의가 반도체 부품으로 구성되어 있어 뇌서지, 개폐 서지나 노이즈에 약하여 특성의 열화, 손상, 오동작, 소자파괴 및 기판 소손 등을 일으켜 신뢰도가 저하되고 있으며, System Down등으로 생산에 막대한 지장을 초래하여, 자동화 System의 효율적 운용과 고신뢰성 확보의 중요도는 점점 높아져 가고 있다.

서지 및 노이즈에 의해서 일어나는 트러블은 일반적으로 일과성으로 재현을 하기 힘들기 때문에, 그것을 알기 까지에 상당한 시간이 경과한다. 그러나, 서지 및 노이즈는 물리현상이며 결코 논리에서 벗어난 현상은 아니다. 다만, 일반적으로 그 모습을 정확히 파악하거나 상태를 판단할 수 있는 계측 데이터를 얻는데 그다지 익숙하지 못하기 때문에 재현성이 힘들고, 대책을 세운 효과의 확증을 얻기 힘든 현상에 대해서는 부득이 추측으로 판단하거나 경험 또는 감(感)으로 대응하고 마는 경향이 있는 실정이다.

따라서 본 고에서는 자동화설비의 서지 및 노이즈 대책을 실제 생산현장에서의 몇 가지 사례를 중심으로 진단한 결과와 대책 전후 측정 Data를 제시함으로써 관련 기술자들의 기술력 향상 및 실무에 도움을 주고자 한다.

2. 서지 및 노이즈의 개요

2.1 뇌서지 침입경로

자동화 설비는 컴퓨터를 비롯하여 신호의 전송과 제어에 필요한 통신설비, 전원선 등 여러 가지 설비가 복합적으로 구성되어 있으므로 뇌서지의 침입경로도 매우 복잡다양하다. 건물, 피뢰침, 안테나 등의 직격뢰 또는 근방 낙뢰에 의한 유도뢰에 의하여 침입하는 서지, 전원으로부터 침입하는 서지, 신호, 계측, 제어선 또는 출력전원 등의 부하측으로부터 침입하여 오는 서지, 낙뢰의 대지전류 또는 피뢰기의 방전전류에 의해서 대지의 전위가 상승하여 침입하는 뇌서지, 이들 상호간의 정전적, 자기적인 결합에 의해서 발생하는 뇌서지 등으로 분류할 수 있다. 반도체 기기는 특히 대지로부터 침입하는 뇌서지에 약하며 최근에는 저전압계통에서 이에 대한 보호대책이 가장 중요한 요소로 대두되었다.

(1) 전원선으로 침입하는 뇌서지

배전선을 통하여 교류전원으로부터 침입하는 뇌서지 에너지의 일부는 그림 1에 표시한 바와 같이 수전단에 설치된 1차 보호용 피뢰기를 통하여 대지로 방출되지만 피뢰기의 방전개시전압 이하의 서지와 방전시의 피뢰기 제한전압 및 접지점의 전위상승에 따라 서지가 내부로 침입한다. 또 피뢰기의 특성, 회로의 불평형 등에 의해 선간에도 서지가 발생한다.

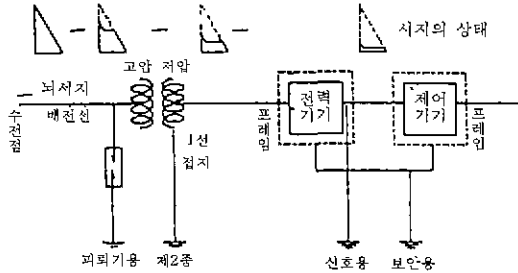


그림 1. 전원계통과 뇌서지 침입

(2) 낙뢰에 의한 뇌서지

철탑, 건물 또는 피뢰침에 낙뢰가 들어오게 되면 그 접지극 부근의 대지전위가 상승하고 그림 2와 같이 다른 접지극에서 기기로 뇌서지가 역류하기도 하고 피뢰기와 보호소자를 역섬락시켜 배전선측, 통신선측으로 뇌서지가 흐른다. 한편, 철탑이 건물의 옥상에 있는 경우는 피뢰침이 건물의 철골, 철근과 연결되어 있으므로 뇌서지는 건물에도 흐르고 그것과 접속되어 있는 기기의 지지물(금속)을 통하여 다른 접지계통에 유입된다.

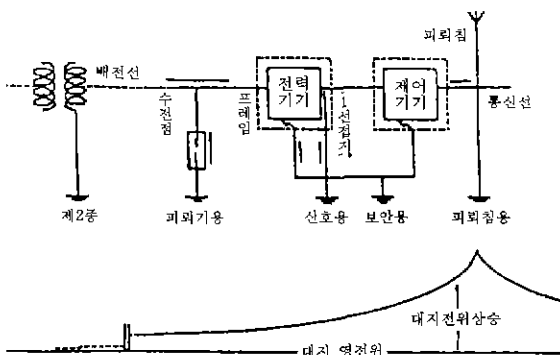


그림 2. 낙뢰시의 뇌서지

2.2 노이즈의 종류

(1) 노이즈의 성질에 따른 분류

1) 전자파 노이즈(방사 노이즈)

전자파란 전기와 자계가 서로 겹쳐서 진행되는 파(波)의 성질을 가진 것으로서, 그 속도는 광속과 같다. 바꾸어 말하면 전기의 흐름이 공중으로 튀어나간 것으로 생각하면 된다.

그 주파수대역은 대단히 폭이 넓으며, 우리들과 친숙한 전자파의 대표적인 것이다. 이 전자파가 기기에 혼입함으로써 장애를 일으키는 것이다.

일반적으로 수십(kHz) 이상의 높은 주파수대에 들어가는 노이즈를 고주파 노이즈라고 한다. 그 발생원인은 기기 내부에서 만들어지는 고주파 신호나 내부잡음이 전자파가 되어 외부로 튀어나가는 것이다.

2) 유도 노이즈

전선에 전류가 흐르면 그 주위에 자속이 생긴다. 이 교류자속에 의해 다른 전선에 기전력(노이즈)를 발생시키는 것으로서 전자유도라고 불린다.

그리고 근접하는 2개의 전선이 있는 경우 그 사이에는 미소한 정전용량(C)이 존재한다(그림 3 참조).

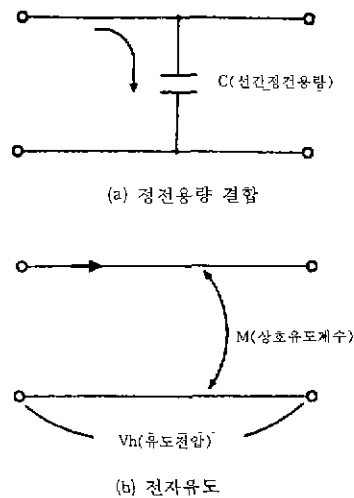


그림 3

이 정전용량의 임피던스 Z는 $Z=1/j\omega C$ (단, $\omega=2\pi f$)이므로 주파수 f가 커지면 2선간의 저항은 작아지고 전류가 흘러 노이즈가 된다. 이것을 정전용량에 의한 결합이라고 한다.

이 두가지가 유도 노이즈라고 하는 것으로서 전자 파만큼 멀리까지 전파하지는 않지만 공중을 이동하는 성질은 동일하다.

3) 전원 노이즈

최근의 자동화기기는 그 대부분이 내부에 고주파수의 발진회로 등 노이즈의 발생원이 될 수 있는 것을 가지고 있으며, 기기 내부에서 전원측으로 복귀해 오는 것이 입력 귀환 노이즈 즉, 전원 노이즈이다.

이것이 동일한 AC 전원을 사용하고 있는 다른 기기에 침입하여 장애를 야기시키는 것으로, 전원 노이즈의 대표적인 것은 스위칭 노이즈라고 불리는 것이다.

대부분 기기의 전원부는 반도체를 사용하여 고속으로 스위칭을 함으로써 기기의 생전력화와 소형, 경량화가 도모되고 있다. 그런데 전원을 ON/OFF 하는 경우 그림 4와 같은 역기전력 V_L 이 발생한다. 즉, 신속히 전원을 ON/OFF하면 할수록 이 역기전력 V_L (노이즈)은 커지게 된다.

전자회로는 고속으로 작동하기 때문에 그 전원도 안정 공급되므로 고속으로 부하변동에 대응하여야 한다. 이것이 전원측에 노이즈가 되어 실리는 것이다.

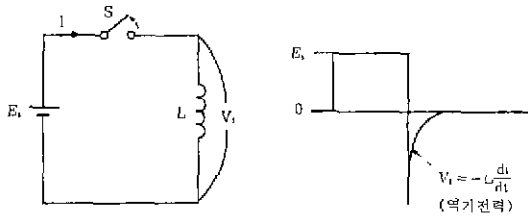


그림 4. 스위칭에 의한 역기전력

(2) Common Mode 노이즈와 Normal Mode 노이즈

전기신호와 노이즈를 전도하는 전송선로는 평행한 왕복 2선인 경우가 많다. 전도 노이즈를 취급할 때는 보통 그림 5처럼 왕복 2선 사이에 박생하는 선간 성분과 대지(또는 접지와 같은 공통전위가 되는 것)와 각 2선과의 사이에 발생하는 대지성분으로 구분하여 생각할 필요가 있다. 이것은 두 성분의 전송선로의 임피던스 특성이 다르기 때문이다.

대지성분 노이즈는 두 선에 대하여 동일위상으로

전달되며 Common Mode(동상)노이즈, 비대칭 노이즈라고도 한다. 이것에 대해 선간성분 노이즈는 선간신호와 같이 서로다른 위상으로 전달되며 Normal Mode(차동) 노이즈, 대칭 노이즈라고도 한다.

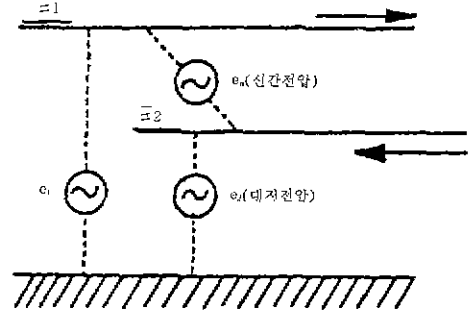


그림 5. 선간전압과 대지전압

전도 노이즈가 선로상을 진행해 갈 때 두 선로의 임피던스가 완전대칭이면 Common Mode 성분과 Normal Mode 성분을 독립적으로 취급해도 좋지만, 실제로는 선로의 임피던스가 완전하게 대칭되기가 불가능하므로 선로상을 진행하는 과정에 Mode의 변환이 일어나서 서로간의 성분에 대해 방해를 주게 된다.

3. 뇌서지 대책

뇌서지 대책에 있어서의 기본이 되는 것은 기기 간, 시스템간에 전위차를 없애는 ① 등전위화, 그리고 뇌전류가 침입하지 못하도록 전기적 절연을 변압기를 통하여 실시하는 ② 절연화 (Isolated), 기기간에 나타난 서지 전압을 피뢰기 또는 서지 흡수기 (TVSS)로 대지에 바이패스하여 기기간의 위험한 전압을 억제하는 ③ By-pass화의 세가지로 나눌수 있다.

3.1 등전위화

자동화기기의 뇌서지 보호에 있어서 보호장치는 기본적으로 접지되기 때문에 접지의 역할을 대단히 중요하며, 접지의 역할은 대지전위상승을 억제하는 것과 등전위화를 이루는 것으로 대별할 수 있다. 즉, 접지의 목적은 접지시스템에 발생한 이상전류를 대

지로 방류하여 전위상승을 억제하는 것과 접지시스템 전위의 균등화를 도모하는 것이다.

따라서, 정보화 기기의 전위계통, 신호의 입출력회선, 접지시스템을 등전위화하면 효과적으로 뇌서지를 보호할 수 있다. 그림 6에 나타난 바와 같이 부하기기의 가까이 보호장치를 설치하고, 그의 접지단자와 기기의 외함을 공통으로 접지선에 접속한다. 따라서 접지선의 전위가 상승하여도 기기의 외함과 전원의 상대적 전위차는 보호장치의 제한전압 만큼의 낮은 전위로 유지할 수 있다.

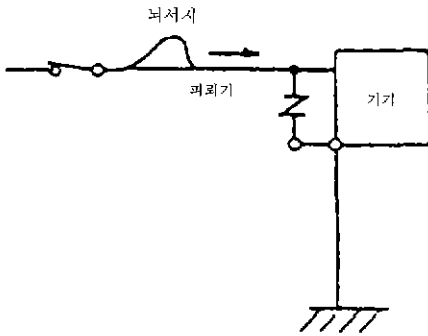


그림 6. 등전위화

3.2 뇌방호소자와 절연트랜스의 조합

뇌유도전압이 침입하지 않도록 절연하는 기능을 갖는 것으로서 절연트랜스(Isolation Transformer)가 있다. 이 절연트랜스는 성능이 충분하면 뇌서지의 침입을 찾아아웃(Shutout)하므로 유효한 대책중의 하나이다. 그러나 수 만 볼트에도 견딜 수 있는 성능을 얻는 것이 기술적으로 곤란하고, 또 형상이 커짐으로써 경제적이지 못하기 때문에 절연트랜스

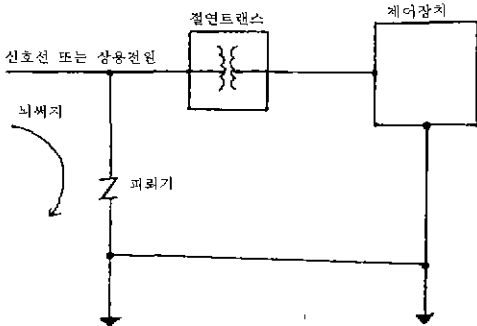


그림 7. 피뢰기와 절연트랜스를 조합한 뇌해(雷害)대책

하나만으로 대책을 실시하는 것보다 그림 7과 같이 피뢰기로 먼저 바이패스 시키고 여기서 막아내지 못하는 전압에 대해서 절연트랜스로 2차 대책을 실시하는 방법이 실용적이다.

3.3 접지극의 서지 임피던스 저감

접지점으로 부터 서지전류가 진행파로서 유입하여 접지도체의 말단에 도달하여 반사된 성분이 원래의 접지점으로 되돌아 오기까지 시간지연이 발생하며, 이 과정을 거친 후 접지도체의 효과가 나타난다. 따라서 접지도체가 길수록 정상 접지저항값에 도달하기까지의 시간지연은 길게 된다.

뇌서지에 의한 접지저항값이 높으면 그 점의 전위 상승이 높게 되며, 주변의 절연파괴나 연결되어 있는 기기의 절연파괴가 일어나는 경우가 있다. 따라서 대지전위상승에 의한 기기의 손상방지 및 인체의 보안상으로도 서지 접지저항값을 낮출 필요가 있다. 접지전극의 형상에 따라 서지접지저항값을 저하 시킬 수 있다.

접지저항을 낮추는 방법으로는 접지전극의 물리적 형상과 크기 이외에 토양의 화학적 처리로 접지극 주변의 토양에 카본과 생석회가 주성분으로 비전해 질인 에스다인(Earth Dain)과 같은 접지저항 저감제를 넣어 토양의 고유저항을 낮추는 방법이 있다.

4. 노이즈 대책

노이즈 방해방지의 기본은 노이즈를 외부로 유출시키지 않도록 하는 것이지만 실제로 생산현장에서 각종 전기·전자기기의 사용할 때에는 거의 불가능하여 일반적으로 노이즈는 전달경로 및 피해측에서 대책을 세우는 경우가 많다.

따라서 여기서는 노이즈방지의 3요소인 차폐, 접지, 노이즈 방지 부품 등에 대하여 생산현장에서 실제적으로 실시가능한 노이즈 대책 시행시 주의사항을 중심으로 기술한다.

4.1 케이블 실드

그림 8과 같이

- ㉔ 실드 재질의 선정이나 처리 방법이 불충분한 경우
 - ㉕ 노이즈가 복사에 의해서 공간에 누설되고 있는 개소가 딱 곳에도 있는 경우
 - ㉖ 전원 라인에 노이즈가 누설되고 있는 경우
- 등은 실드가 실시되어 있어도 충분한 효과를 얻을 수 없다.

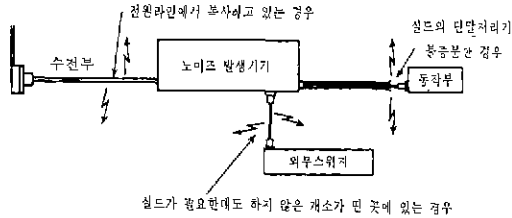


그림 8. 충분한 실드효과를 얻을 수 없는 요인

예를 들어 그림 9 (a)와 같이 출력선을 편조선으로 차폐하면 출력선에서 복사하고 있던 노이즈는 상당히 감소하나, 실드를 실시할 때에 단순히 편조선으로 케이블을 감싼 것만으로는 그림 10과 같이 복사 노이즈는 억제되지 않는 것이 확인되었다.

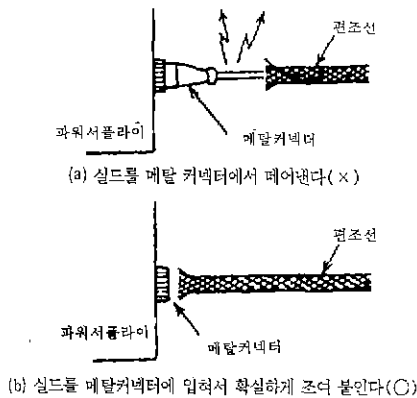


그림 9. 차폐에 의한 복사 노이즈의 방지

이 때에는 그림 9(b)와 같이 편조선을 메탈한 커넥터를 통하여 프레임 그라운드이고 차폐체인 동체에 튼튼하게 접속하지 않으면 효과가 없다.

4.2 노이즈 쉷 트랜스

(1) 실드 트랜스

실드 트랜스(Electrostatic Shielded Transformer)는 절연 트랜스의 1차 코일과 2차 코일 간에 정전차폐판(실드)을 설치하고, 1차 2차 간의 결합 스트레이 캐패시턴스를 작게 한 트랜스이다.

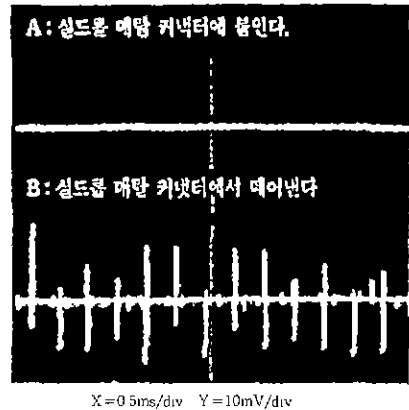


그림 10. 차폐방법에 따른 복사노이즈의 방지효과 비교파형

㉑ 노멀모드 빙지

트랜스에는 본래 전자유도작용(1차 도체전류의 변화에 따라서 생긴 자속변화가 그것과 쇄교하고 있는 2차 도체에 2차 전압을 유기하는 작용)이 있기 때문에 그림 11과 같이 고주파 노이즈의 노멀모드 성분은 정전차폐판이 있어도 2차측에 유도한다.

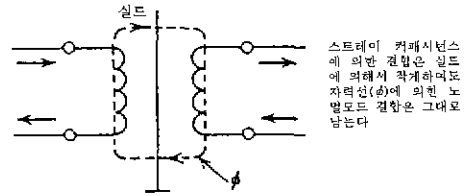


그림 11. 실드 트랜스의 자기결합

㉒ 커먼모드도 충분한 효과 얻지 못함

더욱이 커먼모드 성분도 그림 12에 나타내듯이 코일의 양 끝에서 본 임피던스의 불평형에 의해서 불균형이 생기고, 그 차의 성분($I_u - I_v$)이 유도하여 변성되고 2차측에 노멀모드 노이즈로 되어 발생한다. 즉, 노멀모드 노이즈를 방지하지 못하는 실드 트랜스에서는 커먼 모드 노이즈에 있어서는 충분한 효과를 얻을 수가 없었고, 따라서 고주파 노이즈 방지 소자로서는 불충분하게 된다.

라인 임피던스나 권선의 임피던스의 언밸런스에 의해서 커먼모드 노이즈가 노멀모드 노이즈로 변환되고 만다.

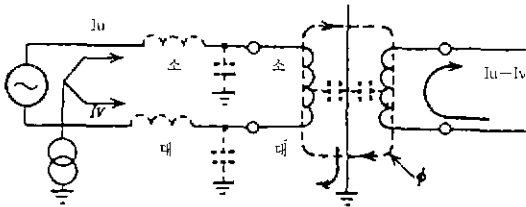


그림 12. 커먼 모드 노이즈에 대한 실드 트랜스의 작용

(2) 노이즈 컷 트랜스

일반 절연트랜스는 1차, 2차 코일간의 부유용량이 수백~수천pF 이기 때문에 용량결합에 의해 고주파 노이즈는 2차측에 전달된다. 실드트랜스는 코일간에 차폐판을 설치하고 정전실드를 하고 있기 때문에 저주파 코먼모드 노이즈의 전파를 방지하는 기능을 갖지만 노멀모드 노이즈에 대해서는 본래의 전자 유도 작용에 의해 2차측에 전파한다.

노멀모드, 코먼모드 노이즈의 2차측으로의 전파를 방지하는 것을 목적으로 한 것에 노이즈 컷 트랜스가 있다. 절연트랜스의 구조를 기본으로 하여 코일 및 트랜스 외주에 다중 전자차폐판을 설치하는 동시에 고주파 노이즈의 자속이 쇄교하지 않도록 코어와 코일 재질, 형상에 대한 연구를 한 것이다.

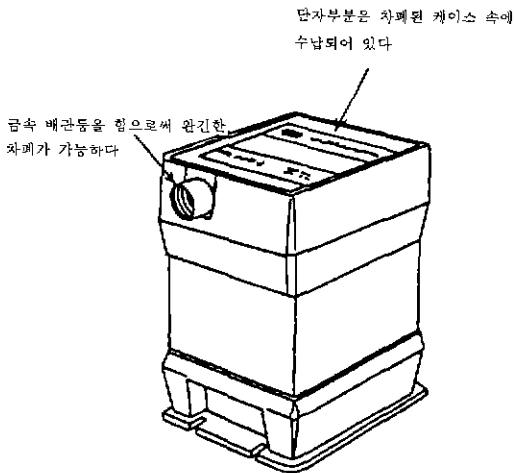


그림 13. 노이즈 컷 트랜스

즉, 1차 코일의 자속 중 필요한 기본파에 가까운 저주파 자속만을 2차 코일에 쇄교시켜, 이에 의해 높은 주파수의 자속은 전부 소실시키거나, 2차측에 쇄교시키지 않고, 1차측 전기세력 중의 기본파만을 유도 재생시키려는 것이다. 이것에 추가해서 노이즈 컷 트랜스는 반드시 1차와 2차간을 전자차폐로 격리시켜 양 코일간의 정전용량 결합에 의한 노이즈 전달을 방지한다.

노이즈 컷 트랜스(Noise Cut Transformer) 그림 13은 특성이 쌍방향으로 효과가 있기 때문에 노이즈를 발생하는 장치에 부착, 외부에 노이즈를 내지 않는 대책으로 사용하는 일도 가능하지만, 전원측에서 장치에 침입해 오는 라인 노이즈도 동시에 방지할 수 있기 때문에 이 장치가 외부에서 거꾸로 받는 노이즈 장애에도 도움이 된다.

따라서 전원선에 노이즈 컷 트랜스를 장착하고 라인 노이즈를 차단하면 제어전원에서 발생하고 있던 노이즈를 감쇄시킬 수 있다는 것을 알 수 있다.

그림 14는 절연트랜스, 실드트랜스, 노이즈 컷 트랜스의 노이즈 방지효과를 나타낸 것이다.

4.3 LC필터

메이커 측 제품속에 LC필터가 원래 내장되어 있을 때 대책을 세우는 과정에서 새로이 LC필터를 추가한 것은 그림 15와 같이 2개의 필터를 직렬로 접속하게 된다(케스케이드 접속). 이와 같이 복수의 LC필터가 조합되는 회로에서는 효과적으로 각각의 상수가 합성된, 전혀 다른 필터가 생기며 노이즈 방지대책이 크게 바뀐다.

또한 그림 16과 같이 LC필터를 외부 부착할 때 도전부가 노출되어 있으면 전원에서 누설되는 노이즈가 전원단자와 LC필터 단자간에 복사되어 버려 효과를 얻지 못하는 경우가 있다[그림 17, 18 참조]. 즉, 부득이 노이즈 방지 소자를 기기 외부에 부착하여 대책을 세우는 경우에는 동시에 복사 노이즈 대책(차폐 등)도 병용하면 실패가 적어진다.

제 원	절연 트랜스	실드 트랜스	노이즈 컷 트랜스(NCT)
구조			
주파수 대역	상: 1차측 전압파형 (더티축) 하: 2차측 전압파형 (크린축) Y: 100V/div X: 1ms/div		
주파수 대역	상: 1차측 전압파형 (더티축) 하: 2차측 전압파형 (크린축) Y: 100V/div X: 0.5ms/div		
특성	노멀 모드도 코먼 모드도 노이즈는 전부 통과	노멀 모드도 통과, 코먼 모드와 주파수가 낮은 부분은 방지되고 있지만 높은 부분은 통과	노멀 모드도 코먼 모드도 노이즈는 전부 컷

그림 14. 절연트랜스, 실드 트랜스, 노이즈 컷 트랜스의 상호 비교

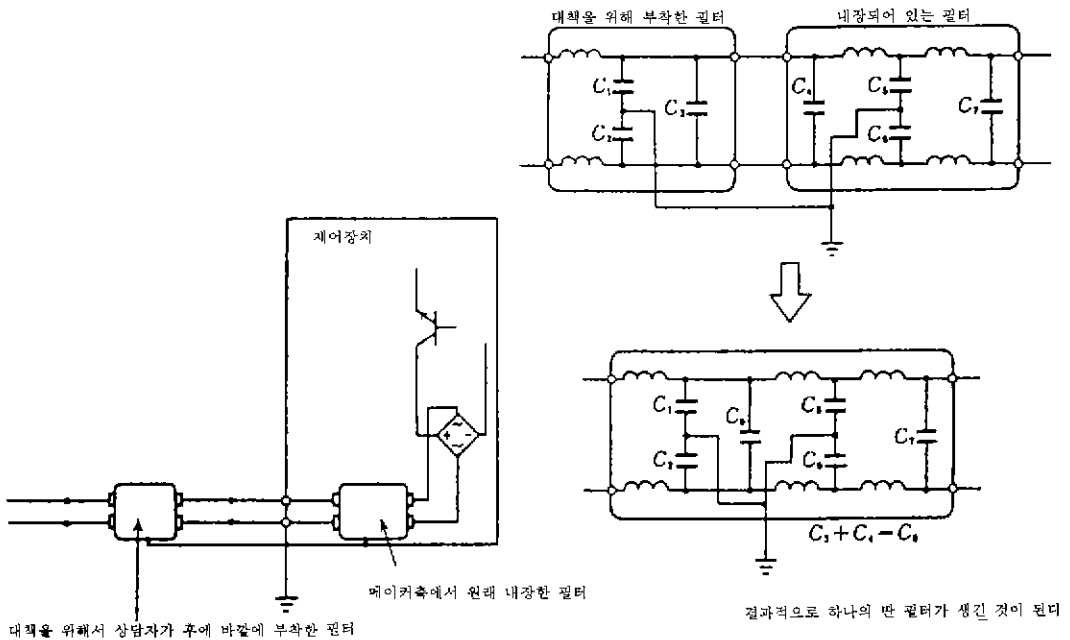


그림 15. 필터를 기기 바깥에 부착한 때의 합성

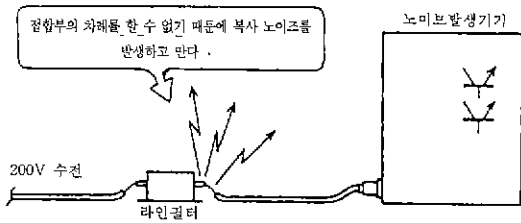
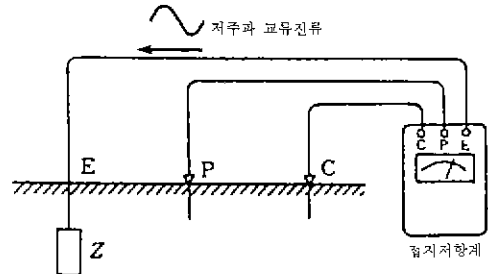


그림 16. 기기 내장용 필터를 외부에 부착하여 사용하는 경우의 문제점

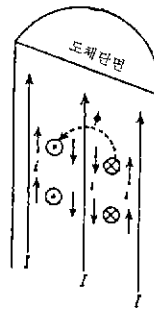


접지저항의 값은 저주파의 교류전류를 사용하여 측정되며 있으며 고주파 전류가 흐른 경우의 값은 아니다

그림 19. 접지저항의 측정

(2) 표피효과

노이즈는 고주파이기 때문에 표피효과가 강하고 주파수가 높은 전류는 접지선의 단면 전체에는 흐르지 않고 접지선의 표면 부근에만 흐를 수가 있다(그림 20 참조).



중심부에서는 I가 상쇄되어 흐르지 않게 된다

I: 도체의 전류
φ: I에 의한 자속
I: φ에 의한 2차 전류

그림 20. 도체 내를 흐르는 전류의 표피효과

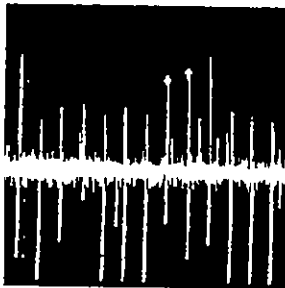


그림 17. 복사노이즈의 예

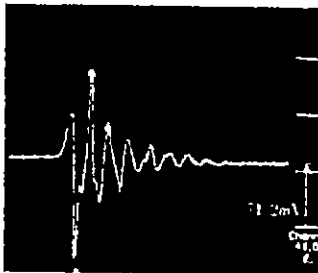


그림 18 - 그림 17의 확대

4.4 접지

(1) 접지 저항의 평가

접지저항의 평가는 접지 전극에서 본 접지저항의 값을 측정하여 이 값이 낮을수록 좋은 접지라고 되어 있다. 그리고 접지저항의 측정은 수 10~100 [Hz]의 저주파교류를 전원으로 사용하여 측정되고 있다. 즉, 이 측정법에서 얻어진 접지저항의 값은 비교적 낮은 주파수대의 전류(상용전원의 기본파인 50[Hz]/60[Hz], 혹은 그것들의 고조파정도)가 접지전극에 흐른 경우의 저항값(임피던스)과는 결코 일치하지 않는다(그림 19 참조).

(3) 접지선의 임피던스

빌딩의 고층화나 공장의 대형화에 수반하여 접지선이 길어지면 고주파 전류에 대해서는 접지선의 임피던스도 문제 된다. 이것은 접지선이 길어질수록 동선이 갖는 도체저항이 증가할 뿐만 아니라 인덕턴스도 증가(인덕턴스는 노이즈의 주파수에 비례하여 임피던스가 높아진다.)하기 때문에 고주파 전류에 대하여 접지선에 전위차가 생기기 쉬우며 좋은 접지라고 할 수 없다(그림 21 참조).

(4) 그라운드 루프

같은 제어계에 속하는 복수의 시스템이 동일한 접지단자를 공유하여 접지되고 그것들의 시스템이 다시 금속 동체나 도전성의 구조체를 통하여 도통하는 경우에는 접지선에 의해서 큰 그라운드 루프가 형성되고 따라서 노이즈를 일으킬 우려가 있다(그림 22 참조).

자동화설비의 Surge 및 Noise 대책 (I)

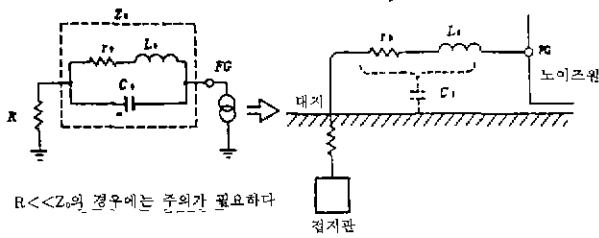


그림 21. 고주파 노이즈에 대한 접지선의 등가회로

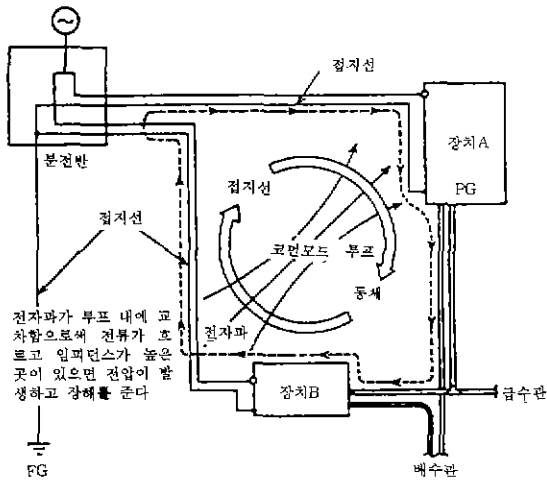


그림 22. 접지선에 Common Mode 루프의 발생

참고 문헌

[1] 유상봉, "특집 전기설비의 진단기술", 조명전기설비 학회지 제10권 제 3호, P.3~12, 1996. 6.
 [2] 유상봉, "노이즈 및 고조파 방지대책", 한국전력기술인협회 전력기술 세미나 교재, P 69~171, 1998. 9
 [3] 이기철, "전기·전자기기의 전자잡음 현황분석 및 대책", 대한전기기사협회지, 1985. 5~11.
 [4] 김성모, "최근의 접지기술 동향과 노이즈 방지대책" 대한전기기사협회지, 전기안전관리사 교육, 1992.
 [5] 藤川進, "OA기기에 장애를 주는 노이즈란 무엇인가" 전기기술 P.53~57, 1996. 3.
 [6] 正田英介, "파워 일렉트로닉스에 의한 전자장해 (EMI)", 전기기술 1996. 8.
 [7] 이기철, "전력계통에서의 EMI현상과 관련기술동향", 월간 전기기술 1996. 8.
 [8] "ノイズ対策 最新技術", 総合技術出版, 1986.
 [9] Donad, R. J. White, "EMC Handbook", Don White Consultants, Inc, 1975
 [10] "생산현장에 있어서의 실천노이즈 대책", 월간전기 1997. 10~11.
 [11] 矢ヶ崎昭彦, "노이즈를 차단하는 노이즈커패시터 트랜스의 미술", 전기기술 1998. 9.

[12] "인버터 대응 노이즈 필터를 사용하면", 월간전기, 1997. 12
 [13] 이복희, "정브하 기기의 뇌서지 보호기술", 전기학회지 제 45권 3호, 1996. 3.
 [14] 안안권, "통신 기지국 및 송신소의 낙뢰 및 서지 보호", 제어계측 1996. 9.
 [15] 佐藤正治, "통신선에 발생하는 뇌 과전압과 억제대책", 전기기술 1998. 4
 [16] 住吉幹夫, "산화아연 배리스터 ZNR 및 뇌서지 대책", 전기기술 1998. 4
 [17] 曹圭心, "낙뢰로부터 통신장치를 보호하는 방법", 기술사지 1996. 6.
 [18] 教育社(日), "雷その被害と対策", 1988. 11
 [19] NTT Japan, "NTT Review", 1994. 9.
 [20] IEEE Std 142-1991 "Grounding of Industrial and Commercial Power Systems", IEEE Green Book
 [21] NFPA 780, "Lightning Protection code"
 [22] "파형관측으로 밝혀내는 공장내에서의 노이즈상태 (2)", 전기기술 1997. 12
 [23] 佐藤榮一, "누전차단기의 선정과 취급방법", 전기기술 1997. 2.
 [24] 電氣事故防止研究會, "누전차단기의 불필요 동작", 전기기술 1997. 3
 [25] 이호성, "Surge 및 Noise 대책 Report(I,II,III)", (주)유진파워시스템 1997. 6~1998. 7
 [26] 関庚賛 編著, "노이즈 종합대책", 전자파 환경공학 핸드북, 성안당 1991. 3

◆ 著者紹介 ◆



유 상 봉(庾相鳳)

1954년 10월 26일생. 1980년 부산대학교 전기공학과 졸업. 1997년 한양대 전기공학과 박사과정(수료). 1993년~1996년 기술사 5개부문 자격취득(건축전기설비, 발송배전, 전기응용, 전기안전, 소방설비 기술사). 1979년~1997년 쌍용양회공업(주), 쌍용엔지니어링(주) 근무. 1998년 현재 용인송담대학 전기과 교수.

〈연재 안내〉

다음호에 아래내용을 연재합니다.

- 5. 서지 및 노이즈 대책 실시사례
- 6. 결 론