

전자회로의 노이즈 감소 기술 (Ⅲ-2)

글/이 경 재 (한전 기술연구원)

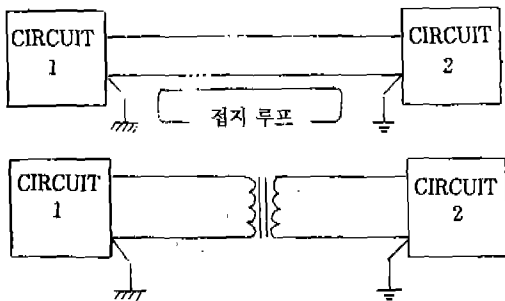
목 차

- I. 서 론
- II. 도체의 실드
- III. 접 지

III. 접 지 (전원호에서 계속)

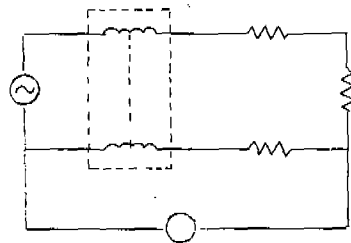
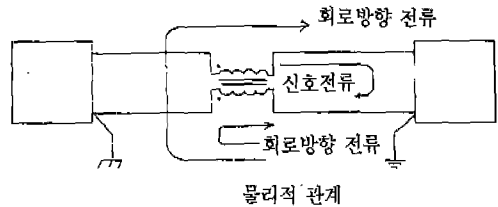
11. 절연 및 중화 변압기

그림 3-19에서 회로의 양단을 접지하면 접지루프를 형성한다. 이를 막으려면 절연변압기 (그림 3-19)를 쓰게 된다. 그러나 어느 회로에 있어서는 직류나 낮은 주파수 전류의 연속성이 필요하기 때문에 절연변압기는 실제로 쓸 수 없게 된다. 그래서 변



<그림 3-19> 접지루프는 절연변압기로 분리 가능

압기 대신 회로방향의 선틀전류(소위 중화변압기 또는 비론)를 사용하게 된다(그림 3-20참조).



등가회로

<그림 3-20> DC나 저주파수의 연속성이 요구되는 접지 루프는 회로방향 선틀전류로 분리

이러한 방법으로 연결된 변압기는 신호전류에게 저 임피던스를 주게 되고 DC결합을 가능케 하며 노이즈 전류에 대하여는 높은 임피던스가 된다. 그림 3-20에 나타난 신호전류는 두 도체내에 균등히 흐르고 있으나 방향은 반대이다. 이것은 회로에 필요한 신호전류이며, 차등회로전류 또는 금속회로전류

라고 알려지고 있다. 노이즈전류는 두 도체에 같은 방향으로 흐르기 때문에 이를 회로방향전류 또는 코먼모드 전류라고도 한다.

그림 3-20의 회로 특성은 등가회로로 분석할 수 있다. 전압발생기 V_s 는 R_{C1} 과 R_{C2} 의 저항도체에 의하여 부하 R_L 에 연결된 신호전압을 나타낸다.

중화변압기는 L_1 과 L_2 라는 두 인덕턴스와 상호인덕턴스 M 로 표현된다. 만일 양 권선이 같은 코어에 가깝게 결합되었다면 L_1 , L_2 및 M 는 같다.

V_G 는 접지루프내의 자체결합 아니면 접지 전입차로 인한 회로방향 노이즈 전압을 나타낸다. 저항 R_{C1} 은 R_L 과 직렬로 되어 있고 값이 작으므로 무시할 수 있다. 해석의 첫단계는 신호전압 V_s 에게 주는 회로의 영향을 결정하는 것이다. 여기서 V_G 의 효과는 무시되므로 그림 3-20은 그림 3-21과 같이 고쳐질 수 있고, 이 그림은 그림 2-17의 회로와 동일하다.

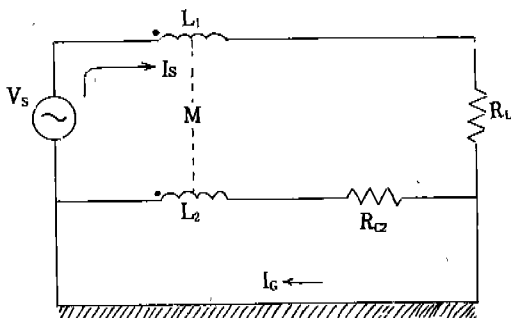
여기에서 주파수가 $W(=5R_{C2}/L_2)$ 보다 크면 모든 전류 I_s 는 접지 평면을 거치지 않고 둘째 도체를 통해 전원측으로 되돌아 오게 된다. 만일 L_2 를 선택할 때 최저신호주파수가 $W(=5R_{C2}/L_2)$ 보다 크면 $I_G=0$ 이 된다.

이 조건에서

$$V_s = j\omega(L_1 + L_2)I_s - 2j\omega MI_s + (R_L + R_{C2})I_s \dots (3-8)$$

$$L_1 = L_2 = M \text{ 이면}$$

$$I_s = \frac{V_s}{R_L + R_{C2}} = \frac{V_s}{R_L} \dots (3-9)$$

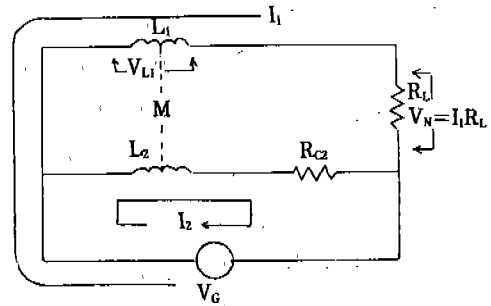


<그림 3-21> 신호전압 V_s 응답분석을 위한 그림 3-20의 등가회로

R_L 이 R_{C2} 보다 매우 크면 3-9식은 마치 변압기가 없는 것 같이 된다. 따라서 변압기의 인덕턴스가 충분히 커서 신호주파수 ω 가 $5R_{C2}/L_2$ 보다 크게 될 때 변압기는 신호전송에 전혀 영향을 주지 않게 된다.

그림 3-20의 회로를 코먼모드(회로방향)의 노이즈 전압(V_G)으로 대응시켜 등가화하면 그림 3-22와 같이 된다.

만일 변압기가 없으면 노이즈 전압은 전부가 R_L 에 걸리게 된다.



<그림 3-22> 전압 V_G 의 응답분석을 위한 그림 3-20의 등가회로

변압기가 있으면 R_L 에 걸리는 노이즈 전압은 다음과 같이 된다. 바깥 루프에서

$$V_G = j\omega L_1 I_1 + j\omega M I_2 + I_1 R_L \dots (3-10)$$

안쪽 루프에서

$$V_G = j\omega L_2 I_2 + j\omega M I_1 + R_{C2} I_2 \dots (3-11)$$

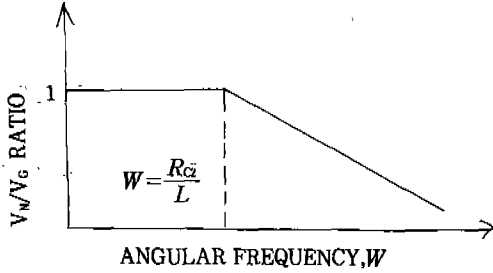
$$\text{여기서 } I_2 = \frac{V_G - j\omega M I_1}{j\omega L_2 + R_{C2}} \dots (3-12)$$

전술한 바와 같이 $L_1 = L_2 = M = L$ 이므로

$$I_1 = \frac{V_G R_{C2}}{j\omega L (R_{C2} + R_L) + R_{C2} R_L} \dots (3-13)$$

$$\text{노이즈전압 } V_N = \frac{V_G R_{C2} / L}{j\omega + R_{C2} / L} \dots (3-14)$$

V_N/V_G 의 값이 그림 3-23에 나와 있다. 노이즈 전압을 최소화하려면 R_{C2} 가 적어야 한다.



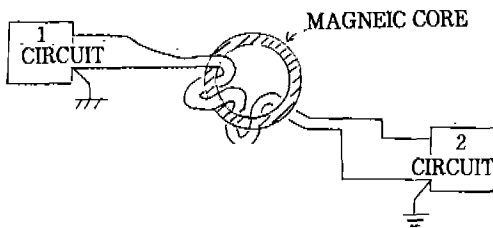
<그림 3-23> R_c 가 크면 노이즈 전압이 증가됨

이때 변압기의 인덕턴스 L 은 다음과 같다.

$$L \gg \frac{R_c}{W} \dots \dots \dots (3-15)$$

W 는 노이즈의 주파수이고 변압기는 불평형 dc전류가 회로내를 흐를 때 포화되지 않는 충분한 크기가 되어야 한다.

그림 3-20에 보인 회로방향 선택선류이나 중화 변압기는 쉽게 만들 수 있다. 그림 3-24에 나타난 자기철심에 두 도체를 감으면 된다. 한 회선이상의 신호도체를 같은 철심에 감아서 쓸 수 있다. 대표적인 전화국에서는 중화변압기 하나에 20~25회선을 쓰고 있다.

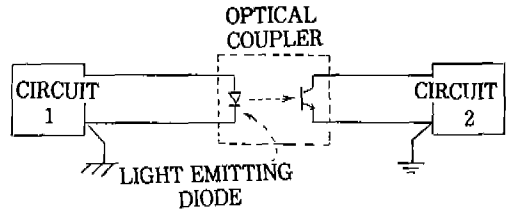


<그림 3-24> 코어와 도체를 이용한 회로방향 선택선류, 동축케이블도 이용가능

12. 광 결합

두 회로간에 접지루프를 분리하는 또다른 방법

이 광 결합이며 그림 3-25에 나와 있다. 기본적인 광 결합의 구성은 광방사 다이오드(LED)와 광학적으로 결합된 트랜지스터, 다이오드 및 사이리스터로 되어 있다.



<그림 3-25> 광결합으로 접지루프 분리

이 형태의 회로는 그 어떤 접지전위차에 대하여도 완벽한 절연을 하게 되며 회로 1과 2사이에는 광결합하는 광속만 통한다.

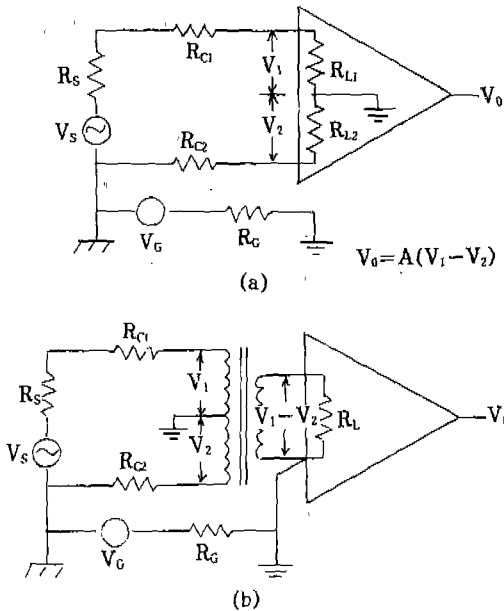
이것은 특별히 디지털 회로에 유용하다. 아날로그 회로에서는 광결합의 선형특성상 부적합할 때가 있다. 최근에는 아날로그회로에도 광회로 피드백 기술을 적용하여 본래의 비선형 특성을 보상하는 설계가 이루어지고 있다.

13. 차동 앰프

차동앰프는 회로방향(컴몬드)의 노이즈 전압(VG)을 줄이는데 사용된다. 그림 3-26의 그림(a)에서 차동(또는 평형)앰프는 두개의 입력전압 V_1 과 V_2 가 있으며 출력전압은 앰프의 게인(A)과 입력 전압차를 곱한 것과 같다. 즉 $V_0 = A(V_1 - V_2)$.

그림 (b)는 싱글·엔드(불평형)앰프가 어떻게 평형된 앰프와 같은 특성으로 모의되어 사용 되는가를 나타내고 있다.

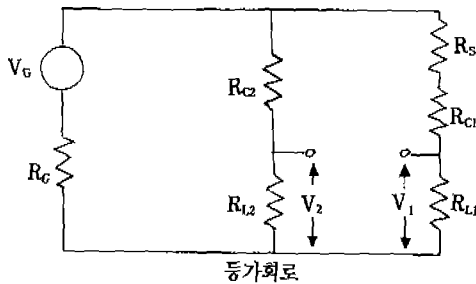
변압기 1차측은 중간탭이 접지되었고, 양쪽에 V_1 과 V_2 전압이 가해진다. 2차전압(변압비는 1:1)은 $V_1 - V_2$ 가 되고, 앰프출력은 게인 곱하기 전압차이가 되고 평형앰프의 걸친 것과 같이 된다. 그림 3-26의 두 회로를 노이즈 전압으로 대응하여 등가화한 것이 그림 3-27에 나타나 있다. R_{L2} 가 R_c 보다 때



<그림 3-26> 코먼모드 노이즈 감소용 차동 앰프-또는 변압기부 앰프

우 크므로 코먼모드 노이즈 전압(V_G)에 의한 앰프의 입력전압은 다음과 같다.

$$V_N = V_1 - V_2 = \frac{R_{L1}}{R_{L1} + R_{C1} + R_S} - \frac{R_{L2}}{R_{L2} + R_{C2}} V_G \dots (3-16)$$



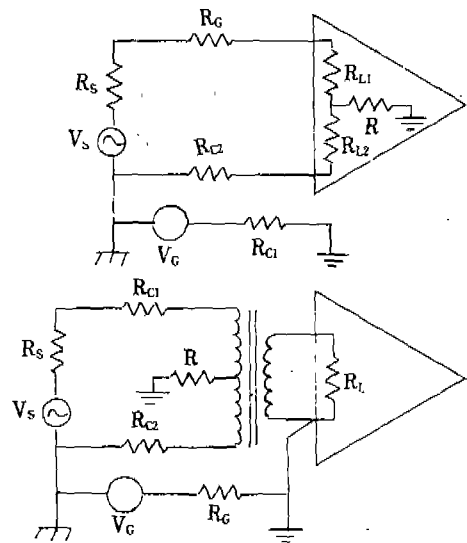
<그림 3-27> 차동 앰프회로 분석을 위한 등가회로

[예제 2] 그림 3-27에서 $V_G=100mV$, $R_G=0.01\Omega$

$R_S=500\Omega$, $R_{C1}=R_{C2}=1\Omega$, $R_{L1}=R_{L2}=10K\Omega$ 이라면 3-16식에서 $V_N=4.6mV$, 여기에서 $R_{L1}=R_{L2}=100K\Omega$ 이면 $V_N=0.5mV$ 이다.

이것은 입력노이즈전압이 약 20dB로 감소되었음을 나타낸다.

위의 예제에서 명백한 것은 차동 앰프에 있어서 입력임피던스(R_{L1} 과 R_{L2})가 증가하면 V_G 로 인한 앰프에 결합되는 노이즈전압이 감소된다는 것이다.



<그림 3-28> 노이즈 감소를 위한 접지선에 저항 삽입

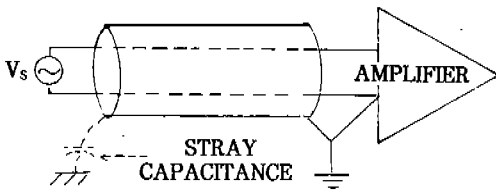
식 3-16에서 전원저항 R_S 를 감소시키면 앰프에 결합되는 노이즈전압도 감소된다는 것을 알 수 있다. 그림 3-28은 신호전압(V_S)의 입력임피던스를 증가시키지 않고 회로방향(코먼모드)전압 V_G 측의 앰프의 입력임피던스를 증가시키기 위하여 그림 3-26의 회로를 변경시키는 방법이 나타나 있다. 이것은 접지선에 저항 R 만을 삽입하면 된다. 고임피던스 차동앰프를 사용할 때에는 입력케이블 실드와 전원측 공용점은 그림 3-18B와 전원측에서 접지시켜야 한다.

14. 고주파수에서의 실드 접지

1MHz미만의 주파수에서는 실드는 보통 한쪽접지를 한다. 한편, 전술한대로 큰 전력주파수의 전류가 실드로 흐를 때에는 신호회로에 노이즈를 일으킨다. 이때 한쪽접지는 실드접지 루프를 없애고 전자유도도 적게 한다. 그런데 1MHz이상 또는 케이블 길이가 파장의 1/20이 초과되면 때에 따라서는 1점 이상에서 실드접지를 하여 대지전위를 유지할 필요가 있게 된다. 또 높은 주파수에서는 표유정전용량이 그림 3-29와 같이 접지루프를 형성시킨다.

이것은 비접지점의 실드가 절연상태로 유지할 수 없게 만든다. 그래서 높은 주파수에서는 실드 양단을 접지하게 된다. 특히 긴 케이블에서는 파장의 1/20 길이마다 접지시켜야 한다. 접지전위차로 인한 노이즈 전압은 주로 전원의 주파수와 고조파 회로에서 결합되어 오는 것이지만 이 노이즈와 신호주파수간에는 큰 주파수차이가 있으므로 필터로 제거시킬 수 있다.

1MHz이상의 주파수에서는 표피효과가 있어 신호와 노이즈 전류의 결합을 감소시킨다. 표피효과는 노이즈전류로 하여금 실드의 표면을, 신호전류는 내면을 흐르게 한다. 다점접지는 동축케이블을 사용하는 높은 주파수에서 자기차폐층을 만들어 준다.



<그림 3-29> 높은 주파수에서 표유정전용량에 의한 접지 루프

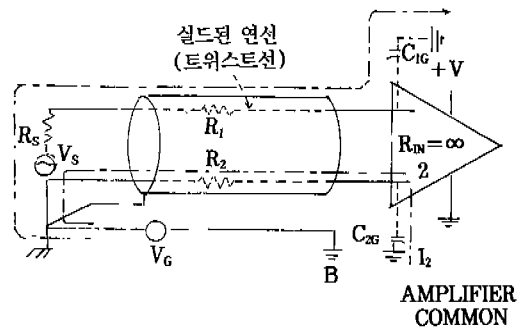
그림 3-29에 보면 회로의 특징은 표유정전용량 대신 작은 정전용량을 삽입하여 개선한 것이며 이것을 혼성접지라고 한다. 낮은 주파수에서는 정전용량의 임피던스가 크므로 일점접지가 되며, 높은 주파

수에서는 정전용량이 낮은 임피던스가 되므로 다점 접지가 된다. 이러한 접지구성은 광범위 주파수대에서 운전될 때 흔히 사용된다.

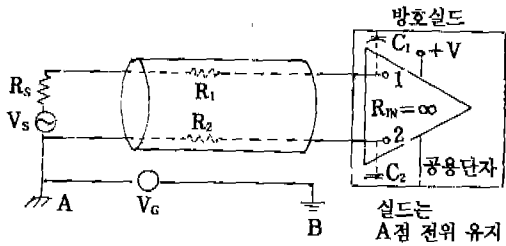
15. 방호 실드(GUARD SHIELDS)

차동앰프로 얻어지는 것보다 더 큰 노이즈 감소방법은 방호실드로 된 앰프를 사용하는 것이다. 방호실드는 앰프주위에 시공하여 불평형 전원임피던스에서 오는 전류의 흐름을 방지하는 전위를 유지하게 한다. 방호실드의 효과는 방호실드가 접지전위차 현상을 해소하는 실례를 설명하는 것이 가장 좋은 것이다.

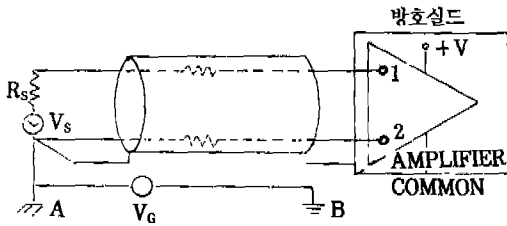
그림 3-30은 앰프가 접지된 전원에 실드된 연선으로 연결된 것을 나타낸다. V_G 는 접지전원차로 인한 코먼모드(회로방향)전압이다. V_S 와 R_S 는 신호전압과 전원측 저항이다. R_{IN} 은 앰프의 입력임피던스이고 C_{1G} 와 C_{2G} 는 케이블 정전용량을 포함한 앰프 입력단자와 접지간의 표유정전용량이다. 이때 V_G 로 인하여 두가지의 바람직스럽지 못한 전류가 흐르게 된다. 전류 I_1 은 R_S , R_1 및 C_{1G} 를 흐르고 I_2 는 R_2 와 C_{2G} 를 흐른다. 단일 두 회로의 임피던스가 같지 않다면 앰프입력에는 전위차가 생긴다. 이때 앰프주위에 그림 3-31과 같은 방호실드가 되어 있고 실드가 A 점과 같은 전위로 유지된다면, 전류 I_1 과 I_2 는 모두 '영'이 된다. 그러면 정전용량 C_1 과 C_2 는 입력단자와 실드간에 나타나게 된다.



<그림 3-30> 앰프와 접지된 전원이 실드연선과 연결될



<그림 3-31> 방호실드 A점 전위유지로 노이즈 제거



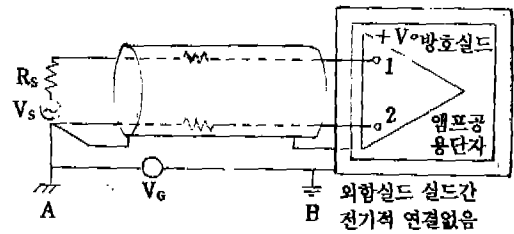
<그림 3-32> 방호실드는 A점으로 연결(케이블 실드를 통합)

이 실드는 입력노이즈 전압차를 제거하는 목적을 달성할 수 있게 된다. 이 방호실드를 A점 전위로 유지하는 방법으로서 그림 3-32에서와 같이 케이블 실드와 연결하는 것이다. 그리고 다른 끝의 케이블 실드도 A점에서 접지한다.

이로써 점 A와 전원공용점과는 노이즈전압이 없게 된다. 만일 VS의 공용단자와 접지점 A간에 노이즈전압이 있다하면 방호실드는 직접 A점에 연결하는 대신 그림과 같이 전원측 공용선과 연결되어야 한다.

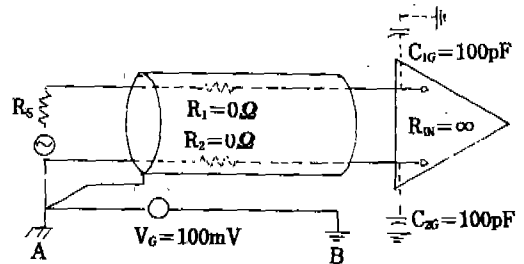
그림 3-32의 앰프와 실드결선은 전술한 바 있는 규칙과 다른바 없다. 케이블실드는 오로지 (점 A에서) 일점접지를 하였고 입력케이블 실드는 앰프의 공용점에 연결되었다. 앰프주위의 실드도 앰프공용단에 연결되었다. 그림 3-32의 방호된 앰프에 있어서, 앰프내부의 B전위 접지점은 입력리드선과 접지(방호안된 정전용량)간에 정전용량으로 전압이 증가하게 된다. 앰프를 작동하려면 자신이 갖고 있는 배터리나 정전기적으로 실드된 변압기만을 통한 전력을 받아야 하므로 방호실드는 정전용량의 효과를 제

거하지 않고 접지 B와 연결되어서는 안된다. 따라서 실제 회로는 방호실드 주위에 제2의 실드를 설치하여 방호의 기능을 보증할 수 있게 하였다(그림 3-33). 이 제2의 실드는 구내접지, B점에 연결되어 보안(접지)요구도 충족시킨다.



<그림 3-33> 방호실드외에 제2실드 사용

방호실드는 특별-저레벨신호를 측정할 때나 큰 코먼모드전압이 나타나 종합적인 노이즈 감소기술이 적용될 때만 요구되는 것이다. 방호실드는 차동앰프와 같이 싱글엔드 앰프에 사용된다.



<그림 3-34> 방호실드 필요성 계산 예

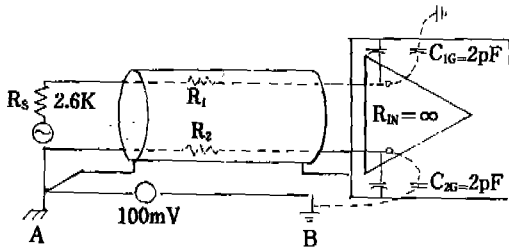
[예제 3] 그림 3-34에서 $R_1=R_2=0$, $R_S=2.6$ K Ω , $C_{1G}=C_{2G}=100$ pF, $V_G=100$ mV(60Hz에서) 리액턴스 100 pF=26M Ω (60Hz에서)

방호실드 없을 때 앰프 입력단자 노이즈 전압차는

$$V_N = \frac{R_S + R_1}{R_S + R_1 + Z_{1G}} - \frac{R_2}{R_2 + Z_{2G}} V_G \dots\dots(3-17)$$

(3-17)에서 $V_N=10 \mu$ V

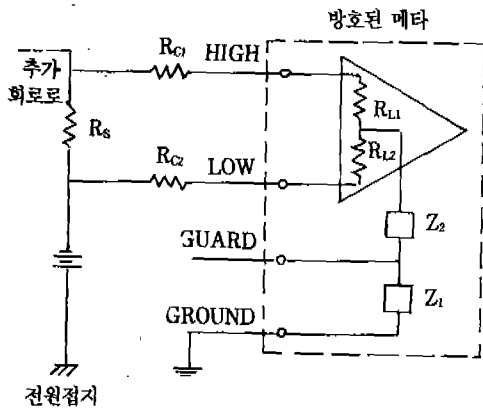
만일 방호실드가 사용되어 그림 3-35와 같이 대지간 정전용량이 2pF로 감소된다면 $V_N=0.2\mu V$ 가 되어 34dB가 개선된다. 대지정전용량 2-pF는 방호실드가 완벽하지 않기 때문이다. 만일 완벽하면 노이즈전압은 '영'이 된다. 여기에서 노이즈의 주파수가 크면 C_{1G} 과 C_{2G} 의 임피던스가 증가되어 앰프에 결합되는 노이즈전압이 증가됨을 알 수 있다.



<그림 3-35> 방호실드는 대지에 대한 선로정전용량과 노이즈 전압을 감소시킴

16. 방호된 미터(GUARDED METERS)

방호실드를 이용하는 설계자가 아닌 사람들도 그 작용 원리를 이해함으로써 좋은 참고가 되고 있다. 수많은 최신 계측기가 방호실드와 함께 제작되었다(그림 3-26). 방호실드를 측정하고자 하는 회로의



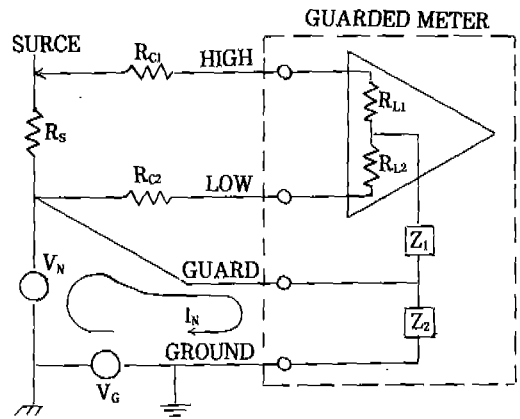
<그림 3-36> 방호된 미터 사용시 방호터미널 연결문제

적당한 곳에 연결하면 사용자에게 유리하지만 사용자가 방호실드의 목적을 이해하지 못하면 미터를 방치하거나 잘못 접지에 연결하여 최적의 결과를 얻지 못하게 된다.

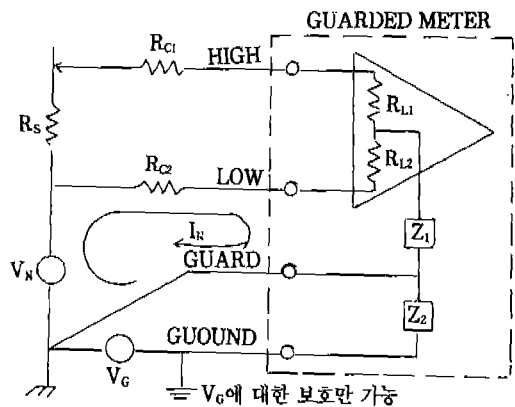
방호접지의 최대한의 이점을 얻으려면 다음 규칙이 지켜져야 한다.

방호실드는 코먼모드의 전류가 입력측 저항을 흐르지 않도록 해야 한다. 이 뜻은 전원의 낮은 임피던스 단자에 방호를 연결하라는 것이다.

[예제 4] 그림 3-36은 양단이 접지되지 않고 방호된 디지털 전압계가 연결된 R_s 의 전압을 측정하는데 어느 곳에 방호실드를 연결하는 것이 최선인가 하는 문제이다.

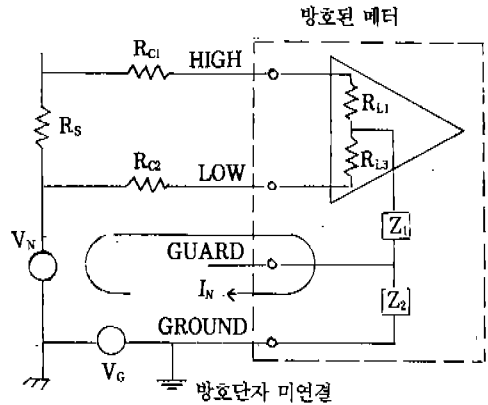


<그림 3-37> R_s 전압측정시 방호연결(R_s 의 저임피던스 측에 연결 노이즈 영향 없음)

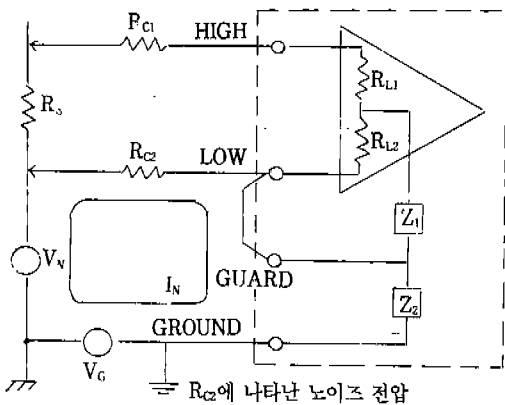


<그림 3-38> 전원접지에 연결된 방호회로는 V_N 에 무방비

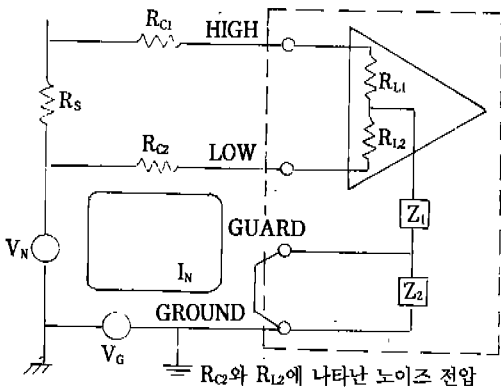
다섯가지 방법이 그림 3-37부터 그림 3-41까지에 나타나 있다. V_G 는 접지 전압차이고 V_N 은 배터리 노이즈전압이다. 그림 3-37은 가장 좋은 결선이다. 전원의 낮은 임피던스단자에 방호단자를 연결하면 노이즈전류가 전압계의 입력측에 흐르지 않게 된다. 그림 3-38은 전원측에 방호연결이 되었으나 먼저보다 못하다. 즉 V_G 의 노이즈는 문제없으나 V_N 부터 노이즈전류가 R_{C2} , R_{L2} 및 Z_1 을 흐르게 되어 노이즈전압이 앰프에 결합된다. 따라서 그림 3-39, 40 및 41은 모두가 전압계의 입력회로에 노이즈전류를 흐르게 하므로 부적합하다.



<그림 3-41> 방호연결 없을때 노이즈 전류가 R_{C2} , R_{L2} , Z_1 와 Z_2 로 흐름



<그림 3-39> 미터 전전위측에 보호단자 연결(R_{C2} 로 노이즈 전류가 흐름)



<그림 3-40> 로컬 접지에 보호단자 연결은 비효과적임 (노이즈 전류가 R_{C2} , R_{L2} 와 Z_1 으로 흐름)

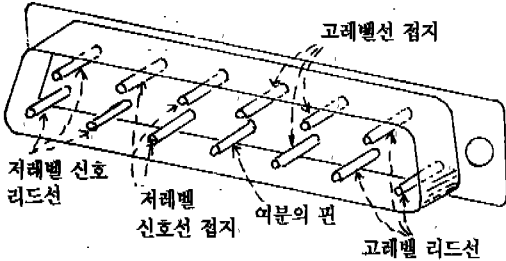
17. 케이블과 연결단자

접지루프의 구성이나 실드의 결합발생은 케이블계통에서 발생할 수 있다. 특히 다르게 설계된 분야가 연결될 때 양호한 케이블 설계가 요구된다. 가능하면 고레벨과 저레벨의 리드선은 같은 케이블을 쓰지 말 것이며 한 케이블을 쓸때에는 고레벨의 리드선은 한테 모아서 실드를 해야한다. 항상 저레벨 리드선은 주의를 기울여야 한다.

고, 저 레벨의 리드선은 서로 다른 연결단자(Connector)를 쓸 것이며 만일 같이 쓸 경우에는 물리적으로 분리되어 있는 핀에 연결해야 한다. 접지리드선은 그림 3-42와 같이 중간부의 핀을 사용할 것이며 스페어 핀이 있으면 가운데에 넣어서 고·저레벨의 리드선을 분리시킨다.

케이블이 시스템간을 연결할 때에는 확실한 실드가 유지되어야 하고 케이블 실드는 연결단자까지 이루어져야 한다.

한개이상의 실드케이블이 연결단자를 통해 연결된다면 각 케이블의 실드는 분리된 다른 핀에 연결되어야 한다. 모든 실드를 한 핀에 연결하면 접지루프를 만들어 실드전류가 각 개의 실드사이를 흐르게 된다.



<그림 3-42> 접속단자내 리드선과 접지선의 분리배치

저레벨의 신호선은 한 점에서 실드되고 접지되어야 한다. 그리고 실드는 절연되어야 한다. 이것은 다

른 점에서 접촉으로 인한 접지를 방지해 준다.

18. 맺음말

최근 급진적인 전자기기의 보급으로 정보산업 발전의 양상이 날로 새롭게 변천되어 가고 있다. 가정에서, 사무실 그리고 공장과 정보통신분야에 이르기까지 수많은 전자기기의 응용이 확장되어가고 있고 장차 이러한 설비에 대한 안정된 운용요구는 더욱 증대되리라 보고 있다. 지금까지 이러한 운용의 저해요소가 되고 있는 노이즈를 감소시키기 위한 대책으로서 도체에 대한 실드와 회로내 접지문제를 다루었다. 이 외에도 다른 방법에 의한 노이즈방지대책이 응용되고 있으나 다음에 기획있는대로 소개하기로 하겠다. <연재 끝>

이런 말을 좀 더 많이

남의 마음을 활취고 상처낼 말, 무책임한 말, 책임회피의 말들보다는 희망을 주는 말, 살 맛 나게 해주는 말, 기쁨을 주는 말, 사랑과 평화를 주는 말을 더 많이 하는 것이 우리가 해야 할 일이 아닐까.....

무엇보다 먼저, 하루에 한번씩 만이라도 이런 말쯤 해 봅시다.

“나는 네가 좋아” “이것 참 잘했네요” “오늘 입고 온 그 옷 참 잘 어울려” “너는 그 일을 할 수 있어” “이건 우리가 모르던 능력인데!” “사랑해요!” “행복하세요!”

그리고 하루에 5분간만 마음을 비우고 이웃에 있는 누군가의 말을 정성껏 들어 줍시다!

‘사랑으로 듣기 운동(!)’ 어떻습니까? 잘 들을 수 있는 사람만이 말을 잘 할 수 있기 때문입니다.