

프로브 기초

입문서

텍트로닉스 프로브 선택 툴

온라인에서 시리즈, 모델 번호 또는 표준/애플리케이션에 따라 프로브를 선택하고 특정 테스트 요구 조건에 따라 상세하게 검색해 보십시오. 클릭할 때마다 일치하는 제품의 목록이 업데이트 됩니다. 지금 바로 www.tektronix.co.kr/probes 사이트에서 사용해 보십시오.

텍트로닉스 리소스

꾸준히 확장되는 텍트로닉스 기술 보고서, 애플리케이션 노트 및 기타 리소스를 통해 프로브와 기타 장비의 기능을 최대한 활용할 수 있습니다. 가까운 텍트로닉스 대리점에 문의하거나 www.tektronix.co.kr 사이트를 참조하십시오.

장비 사용 안전

전기나 전자 시스템 또는 회로를 측정할 때는 신변 안전이 가장 중요합니다. 사용하는 측정 장비의 기능 및 한계를 반드시 이해하십시오. 또한 측정 전에 측정할 시스템 또는 회로에 대해 완전히 숙지하시기 바랍니다. 측정 대상 시스템의 모든 설명서와 회로도를 검토하고, 회로 내의 전압 수준과 위치에 특히 주의를 기울이며, 일체의 주의사항을 유의하십시오.

또한 신체적 부상을 막고 측정 장비나 측정 장비가 연결된 시스템의 손상을 방지하려면 다음과 같은 안전 주의사항을 반드시 검토하십시오. 다음 주의사항에 대해 추가적인 설명이 필요할 경우 안전 주의사항 설명을 참조하십시오.

- 모든 단자의 정격 준수 관찰
- 적절한 접지 절차에 따른 사용
- 올바른 방법으로 프로브 연결 및 분리
- 노출된 회로 주의
- 프로브를 다루는 동안 RF 화상 주의
- 커버 없이 작동 금지
- 습기가 많은 환경에서 작동 금지
- 폭발성 대기가 있는 곳에서 작동 금지
- 고장이 의심되는 경우 작동 금지
- 프로브 표면은 깨끗하고 건조하게 유지
- 프로브를 액체에 담그지 말 것

목차

프로브 – 측정 품질에 중요한 요소 4 – 13

- 프로브란? 4
- 이상적인 프로브 5
- 프로브의 실체 7
- 프로브 작업 팁 11
- 결론 13

다양한 요구에 따라 다양하게 선택되는 프로브 14 – 25

- 수많은 프로브가 존재하는 이유 14
- 차동 프로브 유형과 그 장점 16
- 플로팅 측정 22
- 프로브 액세스서리 24

프로브 선택 가이드 26 – 31

- 적절한 프로브 선택 26
- 시그널 소스의 이해 27
- 오실로스코프의 이해 29
- 적절한 프로브 선택 31

프로브가 측정에 주는 영향 32 – 40

- 소스 임피던스의 영향 32
- 용량성 부하 33
- 대역폭 관련 고려 사항 35
- 프로빙의 영향에 대한 조치 방법 40

프로브 사양의 이해 41 – 45

- Aberrations(오차) (공통) 41
- Amp-Second Product(암페어-초 곱) (전류 프로브) . . . 41
- Attenuation Factor(감쇠 계수) (공통) 42
- Accuracy(정밀도) (공통) 42
- Bandwidth(대역폭) (공통) 42
- Capacitance(캐패시턴스) (공통) 43
- CMRR(차동 프로브) 43
- CW Frequency Current Derating
(주파수 전류 경감) (전류 프로브) 44
- Decay Time Constant(감쇠 시간 상수) (전류 프로브) . . 44
- Direct Current(직류) (전류 프로브) 44
- Insertion Impedance(삽입 임피던스) (전류 프로브) . . . 44
- Input Capacitance(입력 캐패시턴스) (공통) 44
- Input Resistance(입력 저항) (공통) 44
- Maximum Input Current Rating
(최대 입력 전류 정격) (전류 프로브) 44
- Maximum Peak Pulse Current Rating
(최대 피크 펄스 전류 정격) (전류 프로브) 44

- Maximum Voltage Rating(최대 전압 정격) (공통) 45
- Propagation Delay(전파 지연) (공통) 45
- Rise Time(상승 시간) (공통) 45
- Tangential Noise(탄젠트 노이즈) (액티브 프로브) . . . 45
- Temperature Range(온도 범위) (공통) 45

고급 프로빙 기법 46 – 54

- 접지 리드 문제 46
- 차동 측정 50
- 작은 신호 측정 53

안전 주의사항 설명 55 – 56

- 모든 단자의 정격 준수 55
- 적절한 접지 절차에 따른 사용 55
- 연결 및 분리 55
- 노출된 회로 주의 56
- 프로브를 다루는 동안 RF 화상 주의 56
- 커버 없이 작동 금지 56
- 습기가 많은 환경에서 작동 금지 56
- 폭발성 대기가 있는 곳에서 작동 금지 56
- 고장이 의심되는 경우 작동 금지 56
- 프로브 표면은 깨끗하고 건조하게 유지 56
- 프로브를 액체에 담그지 말 것 56

용어집 57 – 59

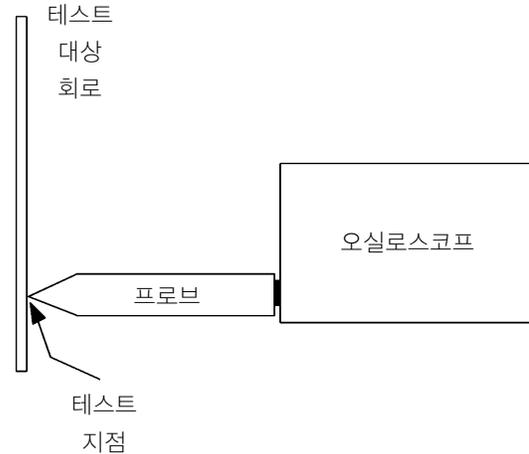
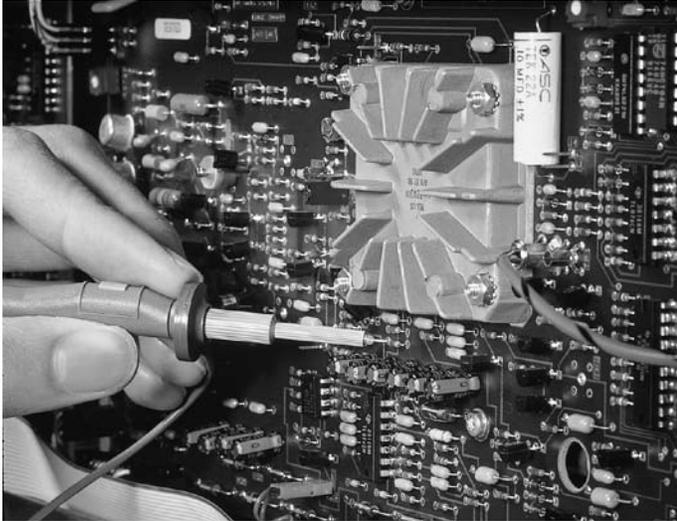


그림 1.1. 프로브는 오실로스코프와 테스트 지점 사이에 물리적, 전기적 연결을 만들어주는 장치입니다.

정밀 측정은 프로브 팁에서 시작됩니다.

프로브는 오실로스코프 측정에서 핵심적인 요소입니다. 그 중요성을 이해하기 위해 오실로스코프에서 프로브를 분리한 다음 측정을 시도해 보십시오. 전혀 측정이 불가능 합니다. 측정할 신호와 오실로스코프의 입력 채널 사이에는 일종의 전기적 연결로 프로브가 존재해야 합니다.

프로브는 오실로스코프 측정에 핵심적인 뿐 아니라 측정 품질에도 중대한 영향을 주는 요소입니다. 프로브를 회로에 연결하면 회로의 작동에 영향을 줄 수 있으며, 오실로스코프는 프로브를 통해 오실로스코프 입력에 공급되는 신호만을 표시 및 측정할 수 있습니다.

따라서 프로브가 측정 회로에 최소한의 영향을 미치며, 원하는 측정 수준에 적합한 신호 충실도를 유지하는 것이 필수적입니다.

프로브가 신호 충실도를 유지하지 못하고, 어떤 방식으로든 신호를 변화시키거나 회로의 작동 방식을 변화시킬 경우 오실로스코프는 실제 신호의 왜곡된 버전을 인식하게 됩니다. 이는 잘못되거나 오해의 소지가 있는 측정으로 이어질 수 있습니다.

본질적으로 프로브는 오실로스코프의 측정 연계망에서 첫 번째 연결 고리입니다. 또한 이 측정 연계망의 견고성에서는 오실로스코프만큼이나 프로브도 중요합니다. 부적절한 프로브 또는 서투른 프로브 사용법으로 첫 번째 연결 고리가 약해지면 나머지 연계망도 약해집니다.

이 절과 다음 절에서는 프로브의 장점과 단점에 영향을 주는 요소와 애플리케이션에 적합한 프로브를 선택하는 방법에 대해 설명합니다. 또한 프로브를 올바르게 사용하는 데 중요한 몇 가지 팁도 제공합니다.

프로브란?

첫 단계로 먼저 오실로스코프 프로브가 무엇인지 알아보겠습니다.

기본적으로 프로브는 테스트 지점 또는 시그널 소스와 오실로스코프 사이에 물리적, 전기적 연결을 만들어주는 장치입니다. 측정 요구 조건에 따라 이러한 연결은 긴 와이어처럼 간단한 방법으로, 또는 액티브 차동 프로브처럼 정밀한 방법으로 이루어질 수 있습니다.

이 시점에서는 오실로스코프 프로브가 시그널 소스를 오실로스코프의 입력에 연결하는 일종의 장치 또는 네트워크라는 점을 이해하는 것으로 충분합니다. 이 내용은 그림 1.1에 나와 있으며, 프로브는 측정 도표에서 정의되지 않은 상자로 표시되어 있습니다.

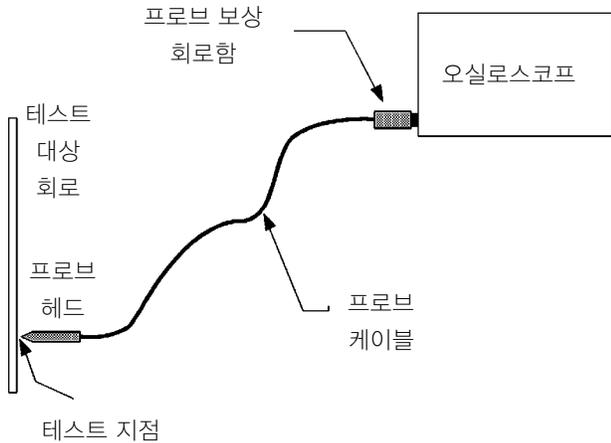


그림 1.2. 대부분의 프로브는 프로브 헤드, 프로브 케이블, 보상 회로함 또는 기타 신호 조정 네트워크로 구성됩니다.

실제로 프로브는 어떤 것이든 시그널 소스와 오실로스코프 입력 사이에 적절한 편의성과 품질을 갖춘 연결을 제공해야 합니다(그림 1.2). 연결의 적절함은 물리적 결합, 회로 동작에 대한 영향, 신호 전송이라는 세 가지 핵심 정의 요소로 결정됩니다.

오실로스코프 측정 작업을 하려면 먼저 프로브를 테스트 지점에 물리적으로 접촉할 수 있어야 합니다. 이를 위해 대부분의 프로브에는 그림 1.2에 표시된 것처럼 최소 1미터 또는 2미터의 케이블이 연결되어 있습니다. 이와 같이 프로브 케이블이 연결되어 있으므로 오실로스코프는 카트 또는 작업대 위의 고정 위치에 두고 프로브를 테스트 대상 회로의 테스트 지점 사이로 이동할 수 있습니다. 하지만 이러한 편의성에는 단점도 따릅니다. 프로브 케이블로 인해 프로브의 *대역폭*이 감소되는데, 케이블이 길수록 감소 정도가 커집니다.

케이블 길이 외에도 대부분의 프로브에는 프로브 헤드 또는 손잡이와 프로브 팁이 있습니다. 프로브 헤드는 팁을 테스트 지점과 접촉하기 위해 움직이는 동안 프로브를 잡을 수 있는 부분입니다. 흔히 이 프로브 팁은 스프링 장착 고리 형태이며 실제로 프로브를 테스트 지점에 접촉할 수 있습니다.

프로브를 테스트 지점에 물리적으로 접촉하면 프로브 팁과 오실로스코프 입력 사이에 전기적 연결도 확립됩니다. 사용할 수 있는 측정 결과를 얻으려면 프로브를 회로에 연결했을 때 회로의 작동 방식에 미치는 영향이 최소화해야 하며, 프로브 팁에서 신호가 적절한 충실도로 프로브 헤드와 케이블을 통해 오실로스코프의 입력으로 전송되어야 합니다.

물리적 연결, 회로 동작에 대한 최소한의 영향, 적절한 신호 충실도라는 이 세 가지 문제는 적절한 프로브를 선택할 때 고려해야 하는 요소를 대부분 포함합니다. 프로브의 영향과 신호 충실도가 더 복잡한 주제이므로 이 입문서의 대부분이 이 문제에 할애되어 있습니다. 하지만 물리적 연결 문제 또한 무시할 수 없습니다. 프로브를 테스트 지점에 연결하기 어려울 경우 대개 프로브 작업의 충실도가 떨어지게 됩니다.

이상적인 프로브

이상적인 세계의 이상적인 프로브라면 다음과 같은 핵심적인 특성을 제공해야 합니다.

- 연결의 간편성 및 편의성
- 완전 무결한 신호 충실도
- 시그널 소스에 대한 부하 0
- 완벽한 노이즈 면역성

연결의 간편성 및 편의성

테스트 지점에 대한 물리적인 연결이 프로브 작업의 핵심 요구 사항 중 하나라는 점은 이미 언급한 바가 있습니다. 이상적인 프로브라면 손쉽고도 편리하게 물리적인 연결이 가능해야 합니다.

고밀도 SMT(표면 실장 기술)와 같은 소형화된 회로의 경우, 초소형 프로브 헤드와 SMT 장치용으로 설계된 다양한 프로브 팁 어댑터를 통해 연결의 간편성과 편의성을 촉진할 수 있습니다.

그러한 프로브 시스템이 그림 1.3a에 나와 있습니다. 한편 소형화된 프로브는 높은 전압과 두꺼운 게이지 선이 흔히 사용되는 산업용 전력 회로와 같은 애플리케이션에 사용하기에는 너무 작습니다. 전력 애플리케이션에는 안전 마진이 더 높으며 물리적으로도 더 큰 프로브가 필요합니다. 그림 1.3b 및 1.3c에 그러한 프로브의 예가 나와 있으며, 그림 1.3b는 고전압 프로브이고 그림 1.3c는 클램프온 전류 프로브입니다.

이러한 몇 가지 물리적 연결의 예로 미루어 보아 모든 애플리케이션에 이상적인 한 가지 프로브 크기 또는 구성은 없는 것이 분명합니다. 이로 인해 다양한 크기와 구성의 프로브가 개발되어 여러 애플리케이션의 물리적 연결 요구 사항을 충족하고 있습니다.

완전 무결한 신호 충실도

이상적인 프로브라면 모든 신호를 프로브 팁부터 오실로스코프 입력까지 완전 무결한 신호 충실도로 전송해야 합니다. 즉, 프로브 팁에서 발생하는 신호가 오실로스코프 입력에서 충실하게 재현되어야 합니다.

완전 무결한 충실도를 확보하려면 팁부터 오실로스코프 입력에 이르는 프로브 회로는 감쇠가 0이고, 무한의 대역폭을 가지며, 모든 주파수에서 선형 위상이어야 합니다. 이러한 이상적인 요구 사항은 현실적으로 달성하기 불가능할 뿐 아니라 비현실적입니다. 예를 들어, 오디오 주파수 신호를 다루는 경우 무한 대역폭의 프로브 또는 오실로스코프는 필요하지 않습니다. 또한 대부분의 고속 디지털, TV 및 기타 일반적인 오실로스코프 애플리케이션도 500MHz의 대역으로 처리할 수 있으므로 무한 대역폭이 필요 없습니다.

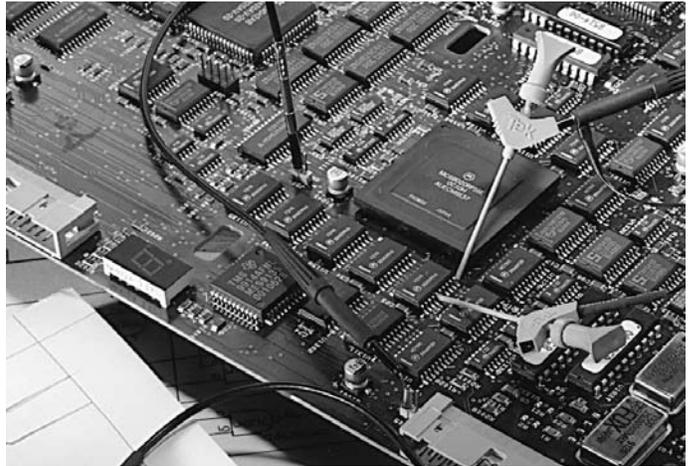
하지만 정해진 작동 대역폭 내에서 완전 무결한 신호 충실도를 구현하는 것은 여전히 요구되는 이상향입니다.

시그널 소스에 대한 부하 0

테스트 지점 이면의 회로는 시그널 소스로 간주하거나 또는 모델링할 수 있습니다. 테스트 지점에 연결되는 프로브와 같은 모든 외부 장치는 테스트 지점 이면의 시그널 소스에 추가적인 부하로 작용합니다.

외부 장치는 회로(시그널 소스)에서 신호 전류를 끌어올 때 부하로 작용합니다. 이러한 부하 작용 또는 신호 전류 인출은 테스트 지점 이면의 회로 동작을 변경시키며, 따라서 테스트 지점에서 나오는 신호도 변경됩니다.

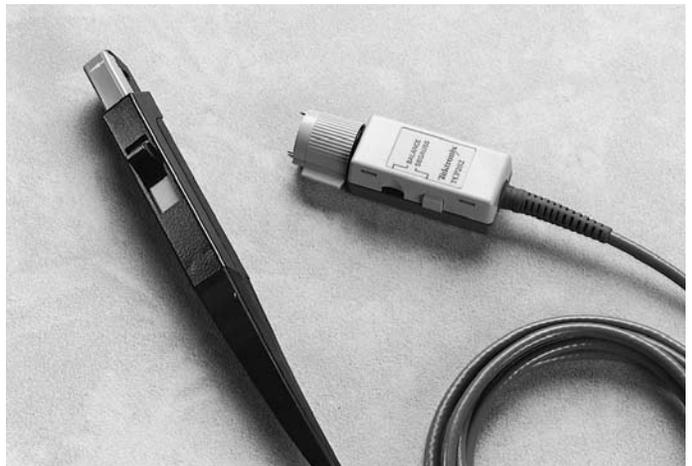
그림 1.3. 여러 애플리케이션 기술과 측정 요구에 대응하는 다양한 프로브.



a. SMT 장치의 프로브 작업



b. 고전압 프로브



c. 클램프온(Clamp-on) 전류 프로브

이상적인 프로브라면 시그널 소스에 부하를 발생시키지 않아야 합니다. 달리 말하자면, 시그널 소스에서 신호 전류를 끌어내지 않아야 합니다. 이는 전류 인출이 0이려면 프로브가 무한의 임피던스를 가져야 하며, 특히 테스트 지점에 대해 개방 회로를 제시해야 함을 의미합니다.

실제로 시그널 소스에 대한 부하가 0인 프로브는 만들 수 없습니다. 이는 오실로스코프 입력단에 신호 전압을 전달하려면 프로브가 일부 소량의 신호 전류를 끌어 써야 하기 때문입니다. 따라서 프로브를 사용할 때는 시그널 소스에 대한 약간의 부하 작용이 예상됩니다. 하지만 항상 적절한 프로브를 선택하여 부하의 양을 최소화하는 것이 목표가 되어야 합니다.

완벽한 노이즈 면역성

형광등과 팬 모터는 우리 주변에서 볼 수 있는 수많은 전기 노이즈 소스 중 2가지에 불과합니다. 이러한 소스는 주변의 전기 케이블 및 회로에 노이즈를 유도하여 신호에 노이즈가 추가될 수 있습니다. 유도 노이즈에 대한 취약성 때문에 오실로스코프 프로브에서 단순한 와이어는 이상적인 선택이 아닙니다.

이상적인 오실로스코프 프로브라면 모든 노이즈 소스에 완전히 면역이 되어야 합니다. 그 결과, 오실로스코프에 전달되는 신호에는 테스트 지점에서 나오는 신호에 비해 추가적인 노이즈가 없습니다.

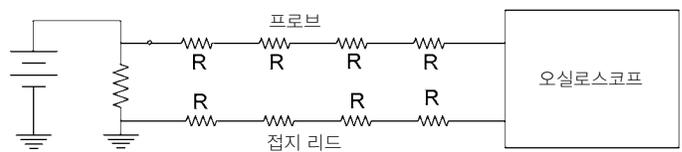
실제로 차폐를 사용하면 대부분의 일반적인 신호 수준에서 프로브에 높은 수준의 노이즈 면역성을 확보할 수 있습니다.

하지만 노이즈는 여전히 일부 저레벨 신호에서 문제가 될 수 있습니다. 특히, 커먼 모드 노이즈는 나중에 설명하겠지만 차동 측정에서 문제가 될 수 있습니다.

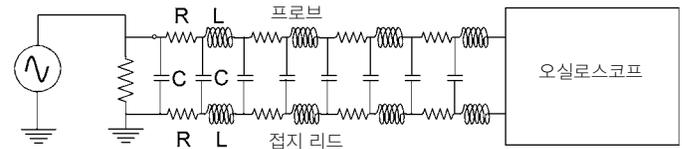
프로브의 실체

앞서 **이상적인 프로브** 부분에서 실제 프로브를 이상적인 조건에 도달하기 어렵게 만드는 몇 가지 현실에 대해 논의했습니다. 이러한 문제가 오실로스코프 측정에 어떻게 영향을 주는지 이해하려면 프로브의 실체를 더 심층적으로 탐구해야 합니다.

첫째, 프로브가 단순한 와이어일지라 하더라도 잠재적으로 아주 복잡한 회로임을 인식하는 것이 중요합니다. DC 신호(주파수 0Hz)의 경우, 프로브는 일부 연속적인 저항과 종단 저항으로 이루어진 간단



a. DC(0Hz) 신호의 경우 분산된 R



b. AC 신호의 경우 분산된 R, L, C

그림 1-4. 프로브는 분산된 저항, 인덕턴스, 캐패시턴스(R, L, C)로 구성된 회로입니다.

한 도체 쌍으로 나타납니다(그림 1.4a). 하지만 AC 신호의 경우, 신호 주파수가 상승함에 따라 상황이 극적으로 변화합니다(그림 1.4b).

상황이 변화하는 이유는 AC 신호의 경우 모든 와이어에 분산 **인덕턴스(L)**가 존재하며, 모든 와이어 쌍에 분산 **캐패시턴스(C)**이 존재하기 때문입니다. 분산 인덕턴스는 신호 주파수가 상승할수록 AC 전류 흐름에 대한 방해가 심해지는 형태로 AC 신호에 반응합니다. 분산 캐패시턴스는 신호 주파수가 상승할수록 AC 전류 흐름에 대한 임피던스가 낮아지는 형태로 AC 신호에 반응합니다. 이러한 무효 성분(L 및 C)의 상호 작용은 저항 성분(R)과 함께 신호 주파수에 따라 변화하는 전체 프로브 임피던스를 발생시킵니다. 적절한 프로브 설계를 통해 프로브의 R, L, C 성분을 제어하여 지정된 주파수 범위 전반에서 원하는 수준의 신호 충실도, 감쇠, 소스 부하 작용을 달성할 수 있습니다. 하지만 뛰어난 설계라도 프로브는 자체 회로 구성의 본질로 인해 한계를 가지게 됩니다. 프로브를 선택 및 사용할 때는 이러한 한계와 그 영향을 인지하는 것이 중요합니다.

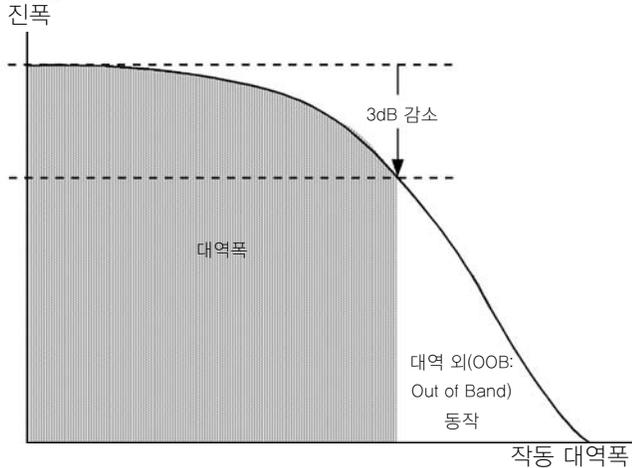


그림 1.5. 프로브와 오실로스코프는 작동 대역폭에서 사양에 따른 측정이 가능하도록 설계됩니다. 3dB 지점 이후의 주파수에서는 신호 진폭이 지나치게 감소되므로 측정 결과를 예측하기 어려울 수 있습니다.

대역폭 및 상승 시간의 한계

대역폭은 오실로스코프 또는 프로브가 작동하도록 설계된 주파수 범위를 의미합니다. 예를 들어, 100MHz 프로브 또는 오실로스코프는 최대 100MHz의 모든 주파수에서 사양 내로 측정이 가능하도록 설계되어 있습니다. 지정된 대역폭 이상의 신호 주파수에서는 원하지 않거나 예측 불가능한 측정 결과가 나올 수 있습니다(그림 1.5).

일반적으로 정확한 진폭 측정을 위해서는 오실로스코프의 대역폭이 측정 대상 파형의 주파수보다 5배 더 커야 합니다. 이 "5배의 규칙"은 사각파와 같은 비사인파 파형의 고주파 성분들에 대해 적절한 대역폭을 보장합니다.

또한 오실로스코프의 상승 시간도 측정 대상 파형에 적합한 수준이어야 합니다. 오실로스코프 또는 프로브의 상승 시간은 이상적인 순간 상승 펄스가 적용되는 경우 측정 가능할 상승 시간으로 정의됩니다. 펄스의 상승 또는 하강 시간을 측정하는 데 적절한 정밀도를 확보하려면, 프로브와 오실로스코프 조합의 상승 시간이 측정 대상 펄스의 상승 시간보다 3 ~ 5배 정도 더 빨라야 합니다(그림 1.6).

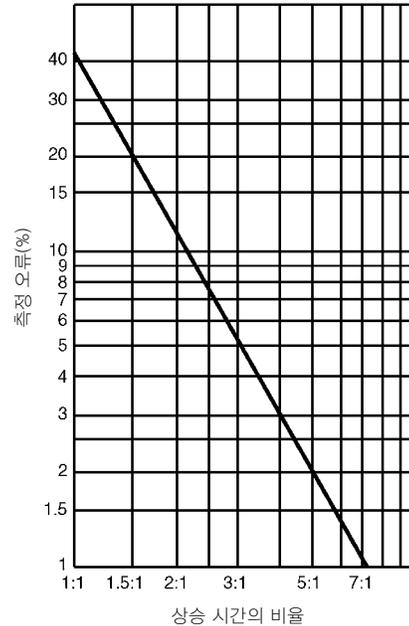


그림 1.6. 상승 시간 측정 오류는 위 표를 이용하여 예측할 수 있습니다. 측정 대상 펄스보다 상승 시간이 3배 빠른 오실로스코프/프로브 조합의 경우(3:1 비율) 해당 펄스의 상승 시간은 5% 이내까지 측정 가능한 것으로 예측됩니다. 5:1 비율이면 오류는 2%로 줄어듭니다.

상승 시간이 지정되지 않은 경우, 다음과 같은 관계를 통해 대역폭 (BW) 사양에서 상승 시간(T_r)을 산출할 수 있습니다.

$$T_r = 0.35/BW$$

모든 오실로스코프에는 대역폭과 상승 시간 한계가 정의되어 있습니다. 마찬가지로, 모든 프로브에도 자체 대역폭 및 상승 시간 한계가 존재합니다. 프로브를 오실로스코프에 연결하면 새로운 세트의 시스템 대역폭 및 상승 시간 한계가 적용됩니다.

불행히도 시스템 대역폭과 오실로스코프 및 프로브의 개별 대역폭 사이의 관계는 간단하지 않습니다. 상승 시간의 경우도 마찬가지입니다. 고급 오실로스코프 제조사들은 이러한 문제에 대응하여 오실로스코프를 특정 프로브 모델과 함께 사용할 경우의 대역폭 또는 상승 시간을 프로브 팁에 명기하고 있습니다. 이는 오실로스코프와 프로브가 함께 측정 시스템을 이루며, 시스템의 대역폭과 상승 시간이 측정 기능을 결정하는 요소이기 때문에 중요합니다. 오실로스코프의 권장 프로브 목록에 포함되지 않은 프로브를 사용하는 경우 예측 불가능한 측정 결과가 나올 위험을 감수해야 합니다.

다이나믹 레인지의 한계

모든 프로브에는 초과해서는 안 되는 고전압 안전 한계가 존재합니다. *패시브 프로브*의 경우 이 한계가 수백 볼트에서 수천 볼트에 이를 수 있습니다. 하지만 *액티브 프로브*의 경우 최대 안전 전압 한계는 대개 수십 볼트 범위입니다. 신변 안전 위험과 더불어 프로브의 손상 가능성을 방지하려면 측정 대상 전압과 사용하는 프로브의 전압 한계를 알아두는 것이 좋습니다.

안전 고려 사항 이외에도 측정 다이나믹 레인지의 실용적인 측면도 고려해야 합니다. 오실로스코프에는 진폭 감도 범위가 있습니다. 예를 들어, 구역당 1mV ~ 10V가 일반적인 감도 범위입니다. 8 구역 디스플레이의 경우, 이는 일반적으로 피크 대 피크 전압이 4mV에서 40V의 범위에 속하는 신호에 대해 상당히 정확한 측정이 가능함을 의미합니다.

이는 적절한 측정 분해능을 확보하기 위해 최소 4 구역의 신호 진폭 디스플레이를 가정한 것입니다.

1X 프로브(1배 프로브)의 경우 다이나믹 측정 레인지가 오실로스코프와 동일합니다. 위와 같은 경우 신호 측정 범위는 4mV ~ 40V가 될 것입니다.

하지만 40V 범위를 넘는 신호를 측정해야 하는 경우라면 어떻겠습니까?

어텐뉴에이터 프로브를 사용하여 오실로스코프의 다이나믹 레인지를 더 높은 전압으로 전환할 수 있습니다. 예를 들어 10X 프로브의 경우 다이나믹 레인지가 40mV ~ 400V로 전환됩니다. 이는 입력 신호를 10의 계수로 감쇠함으로써 오실로스코프의 스케일을 10배로 증폭하는 효과를 제공하는 것입니다. 10X 프로브는 전압 범위가 최고 수준이며 시그널 소스에 대한 부하가 적기 때문에 대부분의 범용 용도에 선호됩니다. 하지만 매우 폭넓은 범위의 전압 레벨을 측정할 계획이라면 전환이 가능한 1X/10X 프로브를 고려하는 것도 좋습니다. 이 제품은 4mV ~ 400V의 다이나믹 레인지를 제공합니다. 하지만 1X 모드의 경우 시그널 소수 부하와 관련하여 더 세심한 주의가 요구됩니다.

신호 부하

앞서 설명한 것처럼, 오실로스코프 입력단에 신호 전압을 전달하려면 프로브가 일부 소량의 신호 전류를 끌어 써야 합니다. 이에 따라 테스트 지점에서 부하가 발생되어 회로 또는 시그널 소스에서 테스트 지점에 전달하는 신호를 변화시킬 수 있습니다.

소스 부하 작용 효과의 가장 간단한 예는 배터리 구동 저항 네트워크를 측정하는 경우를 들 수 있습니다. 이 예가 그림 1.7에 나와 있습

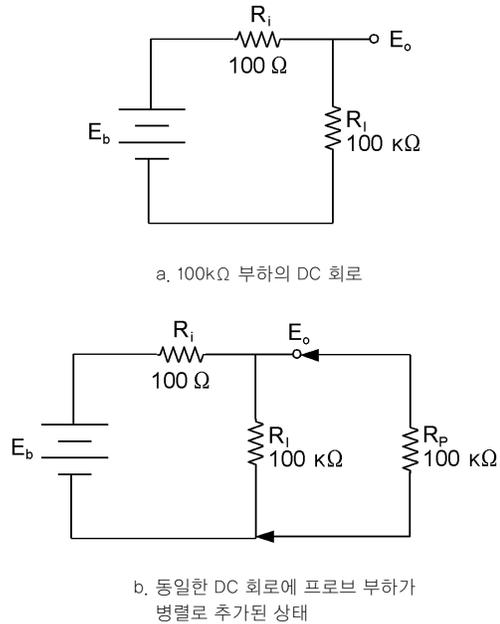


그림 1.7 저항성 부하의 예

니다. 그림 1.7a에서 프로브를 연결하기 전 배터리의 DC 전압은 배터리의 내부 저항(R_i) 및 배터리가 구동하는 부하 저항(R_l) 전반에 분산되어 있습니다. 도표에 지정된 값으로 출력 전압을 산출하면 다음과 같습니다.

$$\begin{aligned}
 E_o &= E_b * R_l / (R_i + R_l) \\
 &= 100 \text{ V} * 100,000 / (100 + 100,000) \\
 &= 10,000,000 \text{ V} / 100,100 \\
 &= 99.9 \text{ V}
 \end{aligned}$$

그림 1.7b에서 프로브가 회로에 연결되어 R_i 와 병렬로 프로브 저항 (R_p)이 위치하게 됩니다. R_p 가 100kΩ이면 그림 1.7b의 유효 부하 저항은 절반인 50kΩ이 됩니다.

E_o 에 대한 부하 작용 효과는 다음과 같습니다.

$$\begin{aligned}
 E_o &= 100 \text{ V} * 50,000 / (100 + 50,000) \\
 &= 5,000,000 \text{ V} / 50,100 \\
 &= 99.8 \text{ V}
 \end{aligned}$$

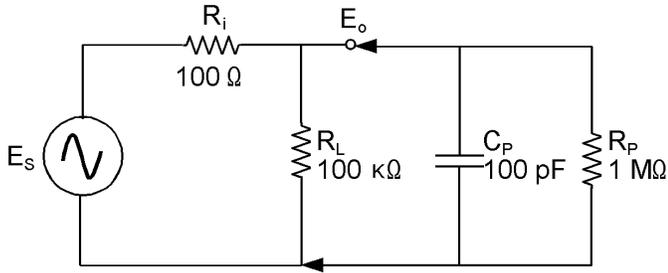


그림 1.8. AC 신호 소스의 경우 프로브 팁 캐패시턴스(C_p)은 부하와 관련하여 가장 중요한 고려 사항입니다. 신호 주파수가 상승하면 용량성 리액턴스(X_c)가 감소되어 더 많은 신호가 커패시터를 통과하게 됩니다.

99.9V 대 99.8V의 이러한 부하 작용 효과는 0.1%에 불과하며 대부분의 용도에서 무시할 수 있습니다. 하지만 R_p 가 예를 들어 10k Ω 정도로 작다면 효과를 더 이상 무시할 수 없게 됩니다.

이러한 저항성 부하를 최소화하기 위해 1X 프로브는 일반적으로 1M Ω 의 저항을, 10X 프로브는 일반적으로 10M Ω 의 저항을 가집니다. 대부분의 경우 이러한 값이라면 저항성 부하가 거의 발생하지 않습니다. 하지만 고저항 소스를 측정할 경우 일부 부하 작용을 예상할 수 있습니다.

일반적으로 가장 우려가 되는 부하 작용은 프로브 팁의 캐패시턴스로 인한 것입니다(그림 1.8 참조). 낮은 주파수의 경우 이러한 캐패시턴스는 매우 높은 리액턴스를 가지며, 영향이 아주 적거나 없습니다. 하지만 주파수가 상승하면 용량성 리액턴스가 낮아집니다. 그 결과 높은 주파수에서 부하 작용이 커집니다.

이러한 용량성 부하는 대역폭을 감소시키고 상승 시간을 증가시킴으로써 측정 시스템의 대역폭 및 상승 시간 특성에 영향을 줍니다.

용량성 부하는 팁 캐패시턴스 값이 낮은 프로브를 선택하는 방법으로 최소화할 수 있습니다. 다양한 프로브의 일반적인 캐패시턴스 값이 아래 표에 나와 있습니다.

프로브	감쇠	R	C
P6101B	1X	1 M Ω	100 pF
P6109B	10X	10 M Ω	13 pF
P6139A	10X	10 M Ω	8 pF
P6243	10X	1 M Ω	≤ 1 pF

표 1.1. 프로브의 캐패시턴스

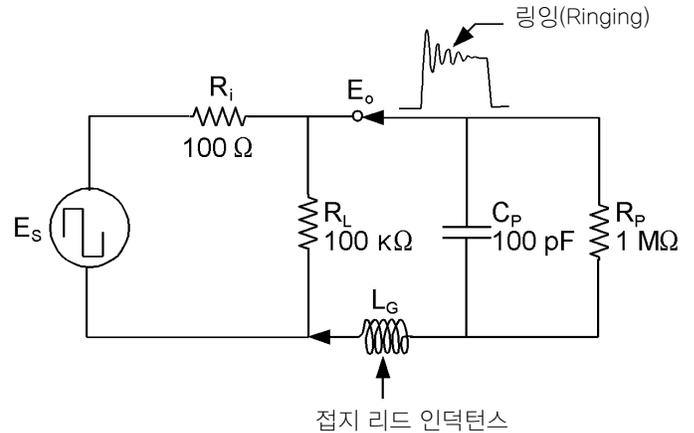


그림 1.9. 프로브 접지 리드는 회로에 인덕턴스를 추가합니다. 접지 리드가 길수록 인덕턴스가 커지며, 고속 펄스에서 링잉(ringing)이 발생할 확률도 높아집니다.

접지 리드도 와이어이므로 일정량의 분산 인덕턴스를 가집니다(그림 1.9 참조). 이 인덕턴스는 프로브의 캐패시턴스와 상호 작용하여 L 및 C 값에 의해 결정되는 특정 주파수에서 링잉을 발생시킵니다. 이러한 링잉은 피할 수 없으며, 펄스의 영향으로 진폭이 쇠퇴하는 사인 곡선으로 인식될 수도 있습니다. 프로브/오실로스코프 시스템의 대역폭 한계 이상에서 링잉 주파수가 발생하도록 프로브의 접지를 설계함으로써 링잉의 영향을 줄일 수 있습니다.

접지 문제를 방지하려면 항상 프로브와 함께 제공되는 것 중에서 가장 짧은 접지 리드를 사용하십시오. 다른 접지 방법으로 대체할 경우 측정되는 펄스에서 링잉이 나타날 수 있습니다.

프로브는 센서입니다

오실로스코프 프로브의 실체를 다루는 데 있어 프로브가 센서라는 점을 기억하는 것이 중요합니다. 대부분의 오실로스코프 프로브는 전압 센서입니다. 이는 전압 신호를 감지 또는 검사하여 오실로스코프 입력으로 해당 전압 신호를 전달하는 것을 의미합니다. 한편 전압 신호 이외의 현상을 감지할 수 있는 프로브도 있습니다.

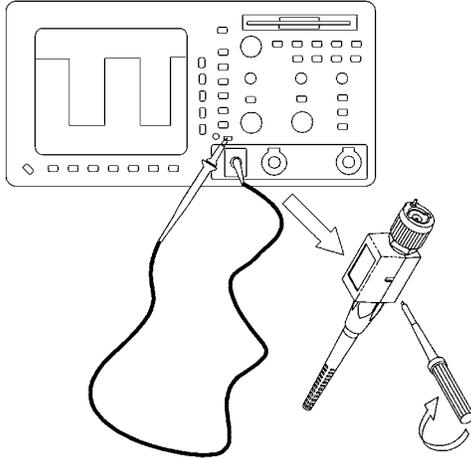


그림 1.10. 프로브 보상 조정은 프로브 헤드에서 또는 보상 회로함이 오실로스코프 입력에 연결된 경우 보상 회로함에서 가능합니다.

예를 들어, 전류 프로브는 와이어를 통해 흐르는 전류를 감지하도록 설계되어 있습니다. 프로브는 감지된 전류를 대응하는 전압 신호로 변환한 다음, 이를 오실로스코프의 입력단으로 전달합니다. 이와 비슷하게 광학 프로브는 광전력을 감지하여 이를 오실로스코프에서 측정할 수 있는 전압 신호로 변환합니다.

또는 오실로스코프 전압 프로브를 기타 여러 가지 센서 또는 트랜스듀서와 함께 사용하여 다양한 현상을 측정할 수 있습니다. 예를 들어 진동 트랜스듀서를 사용하면 오실로스코프 화면에서 기계류의 진동 신호를 볼 수 있습니다. 활용 가능성은 현재 시판 중인 트랜스듀서의 종류만큼이나 폭넓습니다.

하지만 모든 경우에 있어 트랜스듀서, 프로브 및 오실로스코프 조합을 하나의 측정 시스템으로 생각해야 합니다. 더구나 앞서 설명한 프로브의 실체가 트랜스듀서에도 확대 적용됩니다. 트랜스듀서도 대역폭 한계가 있으며, 부하 작용 효과를 일으킬 수 있습니다.

프로브 작업 팁

오실로스코프와 애플리케이션 요구 사항에 일치하는 프로브를 선택하면 필요한 측정을 수행할 수 있는 역량이 확보됩니다. 실제로 측정 수행과 쓸모 있는 결과를 얻는 것은 툴을 어떻게 사용하느냐에 달려 있습니다. 다음과 같은 프로빙 팁을 활용하면 측정에서 흔히 빠지기 쉬운 몇 가지 함정을 피할 수 있습니다.

프로브 보상

대부분의 프로브는 특정 오실로스코프 모델의 입력에 조합되도록 설계되어 있습니다. 하지만 오실로스코프마다 약간의 차이가 있으며, 동일한 오실로스코프에서도 입력 채널마다 차이가 있습니다. 필요할 경우 이러한 문제에 대응하기 위해 많은 프로브, 특히 어테뉴에이터 프로브(10X 및 100X 프로브)에는 보상 네트워크가 내장되어 있습니다.

프로브에 보상 네트워크가 있을 경우 이 네트워크를 조정하여 사용 중인 오실로스코프 채널에 맞게 프로브를 보상해야 합니다. 보상을하려면 다음 절차를 따르십시오.

1. 프로브를 오실로스코프에 연결하십시오.
2. 프로브 팁을 오실로스코프 전면부에 있는 프로브 보상 테스트 지점에 연결하십시오(그림 1.10 참조).
3. 프로브와 함께 제공된 조정 툴 또는 기타 비자성체 조정 툴을 사용하여 캘리브레이션 파형 디스플레이가 오버슈트 또는 라운딩 없이 상단이 평평하게 되도록 보상 네트워크를 조정하십시오(그림 1.11 참조).
4. 오실로스코프에 캘리브레이션 루틴이 내장되어 있을 경우 이 루틴을 실행하면 더 높은 정밀도를 얻을 수 있습니다.

보상되지 않은 프로브를 사용하면 특히 펄스 상승 또는 하강 시간을 측정할 때 다양한 측정 오류가 발생할 수 있습니다. 이러한 오류를 방지하려면 항상 프로브를 오실로스코프에 연결한 후 바로 보상을 시행하고 보상 상태를 자주 점검하십시오.

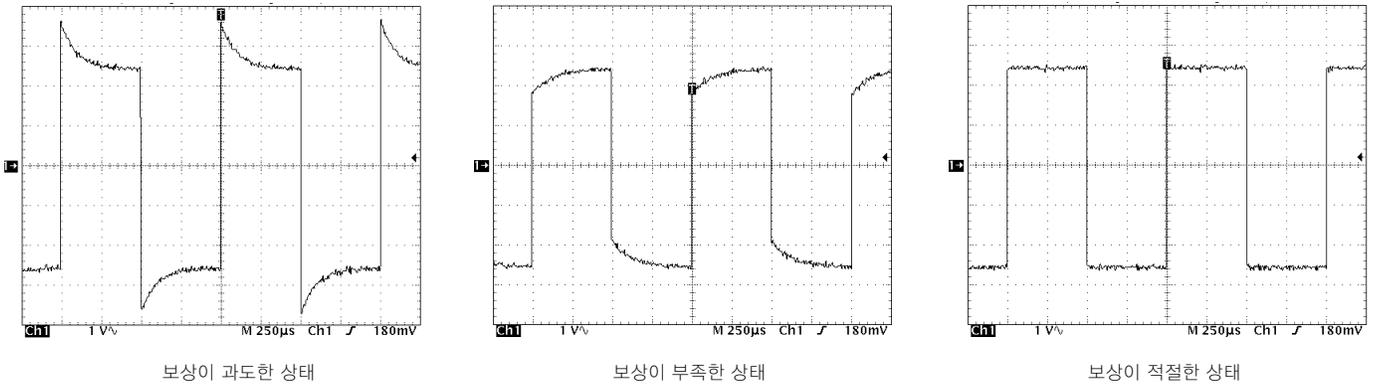


그림 1.11. 사각파에 대한 프로브 보상 효과의 예

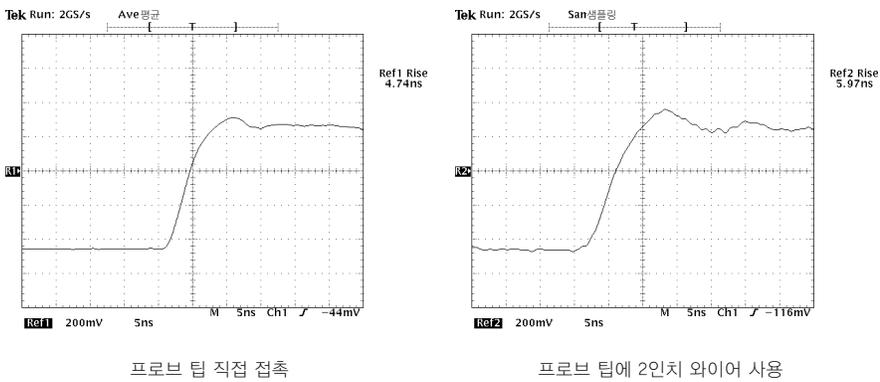


그림 1.12. 테스트 지점에 짧은 길이의 와이어라도 납땜할 경우 신호 충실도 문제를 일으킬 수 있습니다. 이 경우 상승 시간이 4.74ns에서 5.67ns로 변화되었습니다.

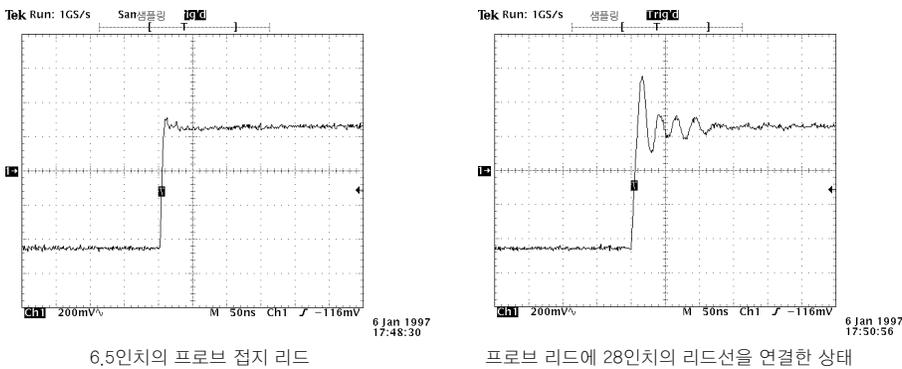


그림 1.13. 프로브 접지 리드를 연장할 경우 펄스에 링잉 현상이 발생할 수 있습니다.

또한 프로브 팁 어댑터를 변경할 때마다 프로브의 보상 상태를 점검하는 것이 좋습니다.

언제나 적절한 프로브 팁 어댑터 사용

측정 대상 회로에 적합한 프로브 팁 어댑터를 사용하면 프로브를 빠르고 편리하며 전기적으로 반복 가능하고 안정적으로 연결할 수 있습니다. 불행히도 프로브 팁 어댑터의 대체품으로 회로 지점에 짧은 길이의 와이어를 납땜하는 경우도 어렵지 않게 볼 수 있습니다.

문제는 1인치 또는 2인치 길이의 와이어라도 높은 주파수에서 상당한 임피던스 변화의 원인이 된다는 것입니다. 그 결과가 그림 1.12에 나와 있으며, 회로에 프로브 팁을 직접 접촉하여 측정한 경우와 회로와 프로브 팁 사이에 짧은 와이어를 연결하여 측정한 경우입니다.

접지 리드는 가능한 짧고 일직선이 되도록 유지

대형 보드나 시스템의 성능 점검 또는 문제 해결을 진행할 때는 프로브의 접지 리드를 연장하고 싶은 유혹을 느낄 수 있습니다. 접지 리드를 연장하면 한번만 접지에 연결하고 프로브를 시스템 여기저기로 자유롭게 이동하면서 다양한 테스트 지점을 검사할 수 있습니다. 하지만 연장된 접지 리드로 인해 추가된 인덕턴스 때문에 고속 트랜지션 파형에 링잉이 발생할 수 있습니다. 그 예가 표준 프로브 접지 리드와 연장 접지 리드를 사용한 경우의 파형 측정 결과가 표시된 그림 1.13에 나와 있습니다.

결론

이 첫 번째 장에서는 프로브의 적절한 선택과 올바른 사용에 필요한 모든 기본적인 정보를 제공하고자 노력했습니다. 다음 장에서는 이러한 정보에 대한 부연 설명과 함께 프로브 및 프로빙 기법에 대한 고급 정보를 소개합니다.

다양한 요구에 따라 다양하게 선택되는 프로브

수백 또는 수천 가지의 다양한 오실로스코프 프로브가 판매되고 있습니다.

그렇게 폭넓은 구색의 프로브가 정말 필요할까요? 예, 필요합니다. 이 장에서 그 이유를 확인할 수 있습니다.

그러한 이유를 이해하면 사용 중인 오실로스코프와 측정할 작업 유형에 적합한 프로브를 선택하기 위한 준비를 더 잘 갖출 수 있습니다. 그에 따른 장점은 적절한 프로브 선택이 측정 역량 및 결과의 향상으로 이어진다는 것입니다.

수많은 프로브가 존재하는 이유

사용 가능한 프로브 수가 많은 근본적인 이유 중 하나는 오실로스코프 모델과 기능이 다양하기 때문입니다. 서로 다른 오실로스코프에는 서로 다른 프로브가 필요합니다. 400MHz 오실로스코프에는 400MHz 대역폭을 지원하는 프로브가 필요합니다.

하지만 100MHz 오실로스코프의 경우 동일한 프로브는 기능이나 비용 측면 모두에서 과잉 사양일 것입니다. 따라서 100MHz 대역폭을 지원하도록 설계된 다른 종류의 프로브가 필요합니다.

일반적으로 가능하면 오실로스코프의 대역폭에 일치하는 프로브를 선택해야 합니다. 그것이 어렵다면 오실로스코프의 대역폭을 초과하는 쪽으로 선택해야 합니다.

대역폭은 단지 시작일 뿐입니다. 오실로스코프에는 다양한 입력 커넥터 유형과 다양한 입력 임피던스도 있습니다. 예를 들어, 대부분의 스코프는 간단한 BNC 형태의 입력 커넥터를 사용합니다. SMA 커넥터를 사용하는 스코프도 있습니다. 또한 그림 2.1에 나온 것처럼 리드아웃, 트레이스 ID, 프로브 전원 또는 기타 특수 기능을 지원하도록 특별히 설계된 커넥터가 있는 경우도 있습니다.

따라서 프로브 선택 기준에는 사용할 오실로스코프와의 커넥터 호환성도 포함되어야 합니다. 여기에는 직접적인 커넥터 호환성 또는 적절한 어댑터를 통한 연결이 고려될 수 있습니다.



표준 BNC 프로브. 일반 BNC 커넥터가 있는 프로브라면 거의 모든 테크트로닉스 오실로스코프에 연결할 수 있습니다. 저렴한 패시브 프로브에는 대개 일반 BNC 커넥터가 있습니다.



TekProbe™ 레벨 1 BNC 프로브. TekProbe 레벨 1 BNC 커넥터가 장착된 프로브는 스케일 정보를 오실로스코프와 통신하므로 오실로스코프에서 정확한 진폭 정보를 올바르게 전달할 수 있습니다.



TekProbe™ 레벨 2 BNC 프로브. TekProbe 레벨 2 BNC는 레벨 1의 스케일 정보 전달 기능뿐 아니라, 수많은 전자식 액티브 프로브에 전원을 공급하는 기능도 있습니다.



TekVPI® 프로브. TekVPI가 장착된 프로브는 첨단 전력 관리 및 원격 제어 기능을 제공합니다. TekVPI 프로브는 컴퓨터 제어가 중요한 애플리케이션에 이상적인 선택입니다.



TekConnect® 프로브. TekConnect 인터페이스를 사용하는 프로브는 테크트로닉스에서 공급하는 제품 중 가장 높은 대역폭의 액티브 프로브를 지원합니다. TekConnect 인터페이스는 20GHz 이상의 프로브 사양을 지원하도록 설계되어 있습니다.

그림 2.1. 프로브 대 오실로스코프 인터페이스

리드아웃 지원은 프로브/오실로스코프 커넥터 호환성의 측면에서 특히 중요합니다. 오실로스코프에서 1X 및 10X 프로브를 교체했을 때 오실로스코프의 수직 스케일 리드아웃은 1X에서 10X로 변경된 사항을 반영해야 합니다. 예를 들어, 1X 프로브가 연결된 상태에서 오실로스코프의 수직 스케일 리드아웃이 1V/div(구역당 1볼트)였고, 10X 프로브로 변경한다면 10의 계수가 적용되어 수직 리드아웃이 10V/div로 변경되어야 합니다. 1X에서 10X로 변경된 사항이 오실로스코프의 리드아웃에 반영되지 않는다면 10X 프로브를 사용한 진폭 측정치가 정확한 값보다 10배 낮아지게 됩니다.

일부 범용 또는 기본형 프로브는 모든 스코프에 대해 리드아웃 기능을 지원하지 않을 수 있습니다. 따라서 오실로스코프 제조사가 명확하게 권장하는 프로브 대신 범용 프로브를 사용할 때는 각별한 주의가 필요합니다.

다양한 스코프는 대역폭 및 커넥터의 차이 외에도 서로 다른 입력 저항 및 캐패시턴스 값을 가지고 있습니다. 일반적으로 오실로스코프의 입력 저항은 50Ω 또는 1MΩ입니다. 하지만 입력 캐패시턴스의 경우 오실로스코프의 대역폭 사양 및 기타 설계 요소에 따라 커다란 차이가 날 수 있습니다. 적절한 신호 전송 및 충실도를 확보하려면 프로브의 R 및 C 값이 함께 사용할 오실로스코프의 R 및 C 값과 일치하는 것이 중요합니다. 예를 들어, 50Ω 프로브는 50Ω 오실로스코프와 함께 사용해야 합니다. 마찬가지로 1MΩ 프로브는 입력 저항이 1MΩ인 스코프에 사용해야 합니다.

어테뉴에이터 프로브를 사용하는 경우는 이러한 일대일 저항 매칭에서 예외입니다. 예를 들어, 50Ω 환경에서 10X 프로브는 500Ω의 입력 저항을 가지며, 1MΩ 환경에서 10X 프로브는 10MΩ의 입력 저항을 가집니다. (10X 프로브와 같은 어테뉴에이터 프로브를 디바이더 프로브 및 멀티플라이어 프로브라고도 부릅니다. 이러한 프로브는 오실로스코프의 측정 범위를 배가시키며, 이는 오실로스코프에 공급되는 입력 신호를 감쇠 또는 분할하는 방법으로 구현됩니다.)

저항 매칭과 더불어 프로브의 캐패시턴스도 오실로스코프의 공칭 입력 캐패시턴스와 일치해야 합니다. 일반적으로 캐패시턴스 매칭은 프로브의 보상 네트워크를 조정함으로써 수행할 수 있습니다. 하지만 이는 오실로스코프의 공칭 입력 캐패시턴스가 프로브의 보상 범위 내에 있을 경우에만 가능합니다. 따라서 다양한 오실로스코프의 입력 조건을 충족하는 다양한 보상 범위를 제공하는 프로브도 어렵지 않게 찾을 수 있습니다.

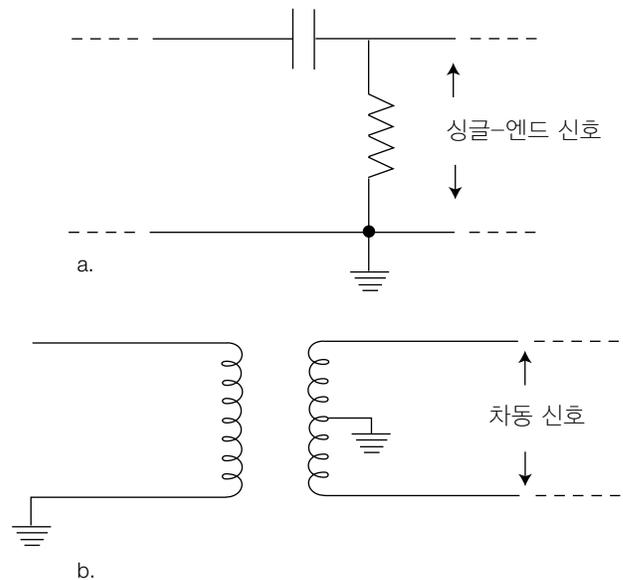


그림 2.2. 싱글-엔드 신호는 접지(a)를 기준으로 하며, 차동 신호는 두 신호 라인 또는 테스트 지점(b) 사이의 차이입니다.

프로브를 오실로스코프에 매칭하는 문제는 오실로스코프 제조사에 의해 대폭적으로 간소화되고 있습니다. 오실로스코프 제조사들은 프로브와 오실로스코프를 완전한 시스템으로 세심하게 설계합니다. 따라서 오실로스코프 제조사가 지정한 표준 프로브를 사용하면 항상 최상의 프로브-오실로스코프 조합을 얻을 수 있습니다. 제조사가 지정한 프로브 이외에 다른 프로브를 사용하면 최상에 미치지 못하는 측정 성능이 나올 수 있습니다.

프로브-오실로스코프 매칭 조건만으로도 시판되는 기본적인 프로브의 종류가 많은 이유가 설명되는데, 여기에 다양한 측정 요구에 필요한 다양한 프로브로 인해 프로브 종류가 대폭 추가됩니다. 가장 기본적인 차이는 측정되는 전압 범위에 있습니다. 일반적으로 mV, V, kV 측정 시마다 서로 다른 감쇠 계수(1X, 10X, 100X)의 프로브가 필요합니다.

또 신호 전압이 차동인 많은 경우가 존재합니다. 이는 신호가 두 지점 또는 두 와이어에 걸쳐 존재하며, 그 중 어느 것도 접지 또는 공통 전위가 아닌 상태를 의미합니다(그림 2.2 참조). 이와 같은 차동 신호는 전화 음성 회로, 컴퓨터 디스크 읽기 채널, 다중 위상 전력 회로에서 흔히 사용됩니다. 이러한 신호를 측정하려면 차동 프로브라고 불리는 또 다른 종류의 프로브가 필요합니다.

여기에 또 다른 경우가 많은데, 특히 전류가 전압만큼 또는 그 이상으로 중요한 전력 애플리케이션이 있습니다. 이러한 애플리케이션에는 전압이 아닌 전류를 감지하는 또 다른 종류의 프로브를 사용하는 것이 좋습니다.

전류 프로브와 차동 프로브는 시판 중인 많은 다양한 유형의 프로브 중에서 단지 두 가지의 특별한 종류의 프로브일 뿐입니다. 이 장의 나머지 부분은 가장 흔한 유형의 프로브 몇 가지와 그 특별한 장점에 대해 알아보겠습니다.

차동 프로브 유형과 그 장점

일반적인 다양한 프로브 유형을 설명하기에 앞서 때로 유형 간에 중복이 있음을 인지해야 합니다. 분명히 전압 프로브는 전적으로 전압을 감지하지만, 패시브 프로브 또는 액티브 프로브가 될 수 있습니다. 이와 비슷하게 차동 프로브는 전압 프로브의 특별한 유형이지만, 액티브 또는 패시브 프로브가 될 수도 있습니다. 필요할 경우 이와 같이 중복되는 관계를 언급하도록 하겠습니다.

패시브 전압 프로브

패시브 프로브는 와이어와 커넥터, 그리고 보상 또는 감쇠가 필요할 경우 저항과 커패시터로 구성됩니다. 트랜지스터 또는 증폭기와 같은 능동 컴포넌트가 없으므로 프로브에 전원을 공급할 필요가 없습니다.

패시브 프로브는 상대적인 단순성 덕분에 가장 견고하며 경제적인 프로브로 간주됩니다. 또한 사용하기 쉬우며 가장 널리 사용되는 프로브 유형입니다.

패시브 전압 프로브는 여러 전압 범위에 대응하는 1X, 10X, 100X의 다양한 감쇠 계수로 공급됩니다. 그 중에서 10X 패시브 전압 프로브가 가장 널리 사용되며, 일반적으로 오실로스코프에 표준 액세서리로 제공되는 프로브 유형입니다.

신호 진폭이 1V 피크 대 피크 이하인 애플리케이션의 경우 1X 프로브가 가장 적합하거나 필수적일 수 있습니다. 낮은 진폭과 중간 진폭의 신호가 혼합되어 있는 경우(수십 mV ~ 수십 V) 전환 가능한 1X/10X 프로브가 매우 편리할 수 있습니다. 하지만 전환 가능한 1X/10X 프로브는 기본적으로 서로 다른 프로브 2개가 하나로 합쳐진 것입니다. 각각의 감쇠 계수가 다를뿐더러, 대역폭, 상승 시간, 임피던스(R 및 C) 특성도 다릅니다. 그 결과 이러한 프로브는 오실로스코프의 입력에 정확히 매치되지 않으며, 표준 10X 프로브로 얻을 수 있는 최적의 성능을 제공하지 못합니다.

대부분의 패시브 프로브는 범용 오실로스코프와 함께 사용하도록 설계되어 있습니다. 그에 따라 대역폭은 일반적으로 100MHz 미만부터 500MHz 이상까지 다양합니다.

훨씬 높은 대역폭을 제공하는 특별한 범주의 패시브 프로브도 있으며, 50Ω 프로브, Z₀ 프로브, 전압 디바이더 프로브 등으로 다양하게 불립니다. 이러한 프로브는 일반적으로 고속 장치 특성 분석, 극초단파 통신 및 TDR(time domain reflectometry) 등의 50Ω 환경에서 사용하도록 설계되어 있습니다. 그러한 애플리케이션에 해당하는 일반적인 50Ω 프로브는 수 기가헤르츠의 대역폭과 100 피코초 이상의 상승 시간을 가집니다.

액티브 전압 프로브

액티브 프로브는 트랜지스터 등과 같은 능동 컴포넌트를 포함하거나 이에 의존하여 작동합니다. 대부분의 경우 능동 장치로는 FET(Field-Effect Transistor: 전계 효과 트랜지스터)가 사용됩니다.

FET 입력의 장점은 일반적으로 수 피코패럿(pF)에서 1pF 미만에 이르는 극히 낮은 입력 캐패시턴스를 제공한다는 점입니다. 이와 같이 극히 낮은 캐패시턴스는 몇 가지 바람직한 효과가 있습니다.

첫째, 캐패시턴스 C의 값이 낮다는 것은 용량성 리액턴스 X_c의 값이 높음을 의미합니다. 이는 X_c를 구하는 다음 공식을 통해 확인할 수 있습니다.

$$X_c = \frac{1}{2\pi fC}$$

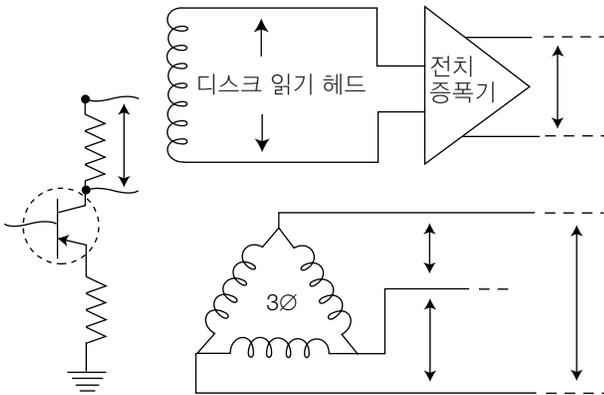


그림 2.3. 차동 시그널 소스의 예

용량성 리액턴스가 프로브의 주요 입력 임피던스 요소이므로, 낮은 C 값은 더 폭넓은 주파수 대역에 걸쳐 높은 입력 임피던스로 이어 집니다. 그 결과, 액티브 FET 프로브는 일반적으로 500MHz에서 수 GHz의 지정 대역폭을 가집니다.

액티브 FET 프로브는 높은 대역폭과 더불어 높은 입력 임피던스를 제공하므로 부하 작용 효과의 위험이 훨씬 적은 상태로 임피던스를 알 수 없는 테스트 지점을 측정할 수 있습니다. 또한 낮은 캐패시턴스 이 접지 리드의 영향을 줄여 더 긴 접지 리드를 사용할 수 있습니다. 하지만 가장 중요한 측면은 FET 프로브의 부하 작용이 매우 적으므로, 패시브 프로브라면 심각한 부하가 작용될 고임피던스 회로에 사용할 수 있다는 점입니다.

DC에서 수 GHz에 이르는 대역폭을 비롯한 이 모든 긍정적인 장점을 제공하는데 굳이 패시브 프로브를 고려해야 하는 이유에 대해 궁금해 할 수도 있습니다.

그 대답은 액티브 FET 프로브는 패시브 프로브의 전압 범위를 지원하지 못한다는 것입니다. 액티브 프로브의 선형 다이내믹 레인지는 일반적으로 $\pm 0.6V \sim \pm 10V$ 사이이며, 견딜 수 있는 최대 전압도 최저 $\pm 40V(DC + 피크 AC)$ 입니다. 즉 패시브 프로브처럼 mV에서 수십 V까지 측정할 수 없으며, 액티브 프로브를 부주의한 높은 전압의 프로빙 작업에 사용할 경우 프로브가 손상될 수 있습니다. 또한 정전기 방전으로도 손상될 수 있습니다.

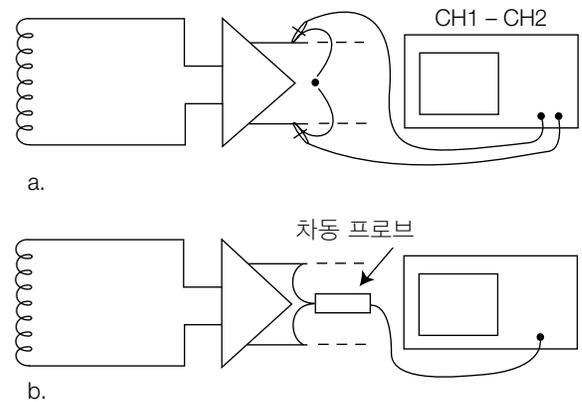


그림 2.4. 차동 신호는 듀얼 채널 오실로스코프(a)의 반전 및 추가 기능을 사용하거나, 더 나은 방법으로 차동 프로브(b)를 사용하여 측정할 수 있습니다.

하지만 FET 프로브의 가장 큰 장점은 높은 대역폭이며, 그 선형 전압 범위에도 다수의 일반적인 반도체 전압을 포괄합니다. 따라서 액티브 FET 프로브는 대개 ECL, GaAs 등과 같은 고속 로직 제품군을 포함한 낮은 신호 레벨의 애플리케이션에 사용됩니다.

차동 프로브

차동 신호는 대지 접지가 아니라 서로를 기준으로 삼는 신호를 의미합니다. 그림 2.3에 이러한 신호의 몇 가지 예가 나와 있습니다. 여기에는 컬렉터 부하 저항 사이에서 발생하는 신호, 디스크 드라이브 읽기 채널 신호, 다중 위상 전력 시스템, 기타 신호가 본질적으로 접지 위에서 “플로팅”하는 다수의 상황이 포함됩니다.

차동 신호는 두 가지 기본적인 방법으로 프로빙 및 측정할 수 있습니다. 그 두 가지 방법이 그림 2.4에 나와 있습니다.

그림 2.4a에 나온 것처럼 2개의 프로브를 사용하여 2회의 싱글-엔드 측정을 수행하는 것은 흔히 사용되는 방법입니다. 또한 이는 일반적으로 차동 측정에서 가장 바람직하지 않은 방법이기도 합니다. 그럼에도 이 방법이 자주 사용되는 이유는 2개의 프로브가 포함된 듀얼 채널 오실로스코프가 있기 때문입니다. 두 신호 대 접지(싱글-엔드)를 측정하고 오실로스코프의 연산 기능을 사용하여 한 신호에서 다른 신호를 빼는 것(채널 A 신호 - 채널 B 신호)이 차동 신호를 얻는데 명쾌한 해답인 것 같습니다. 또한 신호가 낮은 주파수이며 노이즈 문제를 무시하기에 충분한 진폭을 가진 상황일 수 있습니다.

2회의 싱글-엔드 측정을 조합하는 방식에는 몇 가지 잠재적인 문제가 있습니다. 그 중 하나는 각 프로브와 각 오실로스코프 채널을 통과하는 2개의 길고 개별적인 신호 경로가 존재한다는 점입니다. 이러한 경로 사이에 지연 차이가 있을 경우 두 신호의 시간 스큐가 발생합니다. 고속 신호의 경우 이 스큐는 계산된 차동 신호에서 중대한 진폭 및 타이밍 오류를 일으킬 수 있습니다. 이를 최소화하려면 매칭된 프로브를 사용해야 합니다.

싱글-엔드 측정과 관련된 또 다른 문제는 적절한 커먼 모드 노이즈 감쇠 기능을 제공하지 않는다는 것입니다. 디스크 읽기 채널 신호와 같은 많은 저레벨 신호는 커먼 모드 노이즈 감쇠 기능의 장점을 활용하기 위해 차동 방식으로 전송 및 처리됩니다. 커먼 모드 노이즈란 인접한 클럭 라인 또는 형광등과 같은 외부 소스에서 발생하는 노이즈로 인해 두 신호 라인에 모두 영향을 주는 노이즈를 의미합니다. 차동 시스템에서 이러한 커먼 모드 노이즈는 대개 차동 신호에서 감산되어 제거됩니다. 이러한 제거 방식이 성공할 확률을 CMRR(커먼 모드 제거비)이라고 부릅니다.

채널 간의 차이로 인해 싱글-엔드 측정의 CMRR 성능은 주파수가 높아질수록 급속하게 처참한 수준으로 저하됩니다. 이에 따라 소스의 커먼 모드 감쇠가 유지되는 경우 신호에 원래보다 더 노이즈가 심한 것처럼 나타납니다.

반면 차동 프로브는 차동 증폭기를 사용하여 두 신호를 감산하므로 오실로스코프의 한 채널에서 하나의 차동 신호만을 측정하게 됩니다(그림 2.4b).

이에 따라 더 넓은 주파수 범위에서 훨씬 높은 CMRR 성능을 제공합니다. 또한 회로 소형화가 발전됨에 따라 차동 증폭기를 실제 프로브 헤드에 내장할 수 있게 되었습니다. 최신 차동 프로브의 경우 이를 통해 1MHz에서 60dB(1000:1), 1GHz에서 30dB(32:1)에 이르는 CMRR 성능으로 1GHz의 대역폭을 달성할 수 있습니다. 디스크 드라이브의 읽기/쓰기 데이터 전송률이 100MHz 수준을 도달 및 초과함에 따라 이와 같은 대역폭/CMRR 성능이 점차 필수적인 요소가 되어 가고 있습니다.



그림 2.5. 고전압 프로브는 DC 전압을 최대 20kV까지, 펄스를 최대 40kV까지 75MHz의 대역폭으로 측정할 수 있습니다.

고전압 프로브

“고전압”이란 용어는 상대적입니다. 반도체 업계에서 고전압으로 간주되는 전압이 전력 업계에서는 사실상 아무 것도 아닐 수 있습니다. 여하튼 프로브와 관련해서는 고전압을 일반적인 범용 10X 패시브 프로브로 안전하게 처리할 수 있는 전압을 초과하는 전압이라고 정의할 수 있습니다.

일반적으로 범용 패시브 프로브의 최대 전압은 400 ~ 500V(DC + 피크 AC)입니다. 반면 고전압 프로브는 최대 정격이 20,000V에 이릅니다. 이러한 프로브의 예가 그림 2.5에 나와 있습니다.

고전압 프로브 및 측정에서 안전은 특히 중요한 요소입니다. 이를 위해 많은 고전압 프로브에는 일반 케이블보다 긴 케이블이 사용됩니다. 통상적인 케이블 길이는 10피트(약 3미터)입니다. 이는 일반적으로 오실로스코프를 안전 케이지 외부 또는 안전 덮개 뒤에 배치하는데 충분한 거리입니다. 오실로스코프 작업 구역을 고전압 소스에서 더 멀리 이동해야 하는 경우를 위해 25피트(7.62미터) 케이블도 옵션으로 제공됩니다.

전류 프로브

도체를 통해 흐르는 전류는 도체 주변에 전자기 자속장이 형성되도록 만듭니다. 전류 프로브는 이러한 자속장의 강도를 감지하고 오실로스코프에서 측정할 수 있도록 대응하는 전압으로 이를 변환하도록 설계되어 있습니다. 이를 통해 오실로스코프에서 전류 파형을 보고 분석할 수 있습니다. 오실로스코프의 전압 측정 기능과 함께 사용하면 전류 프로브를 통해 광범위한 전력 측정이 가능합니다. 오실로스코프의 파형 연산 기능에 따라 이러한 측정에 순간 전력, 유효 전력, 피상 전력 및 위상 등이 포함될 수 있습니다.

기본적으로 오실로스코프용 전류 프로브에는 두 가지 유형이 있습니다. 대개 패시브 프로브인 AC 전류 프로브와 일반적으로 액티브 프로브인 AC/DC 전류 프로브입니다. 두 유형 모두 도체 내의 교류(AC)를 감지하는 데 동일한 변압기 작용의 원리를 사용합니다.

변압기 작용이 일어나려면 먼저 도체를 통해 교류가 흘러야 합니다. 이 교류는 전류 흐름의 진폭 및 방향에 따라 자속장이 생성 및 붕괴되도록 만듭니다. 이 자속장에 그림 2.6에 나온 것처럼 코일을 배치하면 변화하는 자속장이 간단한 변압기 작용을 통해 코일 주변에 전압을 유도합니다.

이러한 변압기 작용이 AC 전류 프로브의 기본 원리입니다. AC 전류 프로브 헤드는 실제로 자기 코어에 정밀한 사양에 따라 감긴 코일입니다. 이 프로브 헤드를 AC 전류가 흐르는 도체 주변에 지정된 방향으로 두면 프로브가 도체 내의 전류와 알려진 비율의 선형 전압을 출력합니다. 이 전류와 관련된 전압은 오실로스코프에서 전류 스케일 파형으로 표시할 수 있습니다.

AC 전류 프로브의 대역폭은 프로브의 코일 설계 방식과 기타 요소에 따라 결정됩니다. 최대 수 GHz에 이르는 대역폭도 가능하지만, 100MHz 미만의 대역폭이 더 일반적입니다.

어떤 쪽이든 AC 전류 프로브의 대역폭에는 저주파 차단점이 존재합니다. 여기에는 직류(DC)도 포함되는데, 이는 직류가 자속장 변화를 일으키지 않고, 따라서 변압기 작용을 발생시킬 수 없기 때문입니다. 또한 예를 들어 0.01Hz와 같이 DC에 아주 가까운 주파수에서도 자속장은 변압기 작용을 확인할 수 있을 정도로 빠르게 변화하지 않을 수 있습니다. 하지만 결국 변압기 작용이 프로브의 대역폭 내에서 측정 가능한 출력을 발생시키기에 충분하다면 저주파수가 도달됩니다. 시 말하지만, 프로브 코일의 설계에 따라 대역폭의 저주파 한계는 최저 0.5Hz에서 최대 1.2kHz에 이를 수 있습니다.

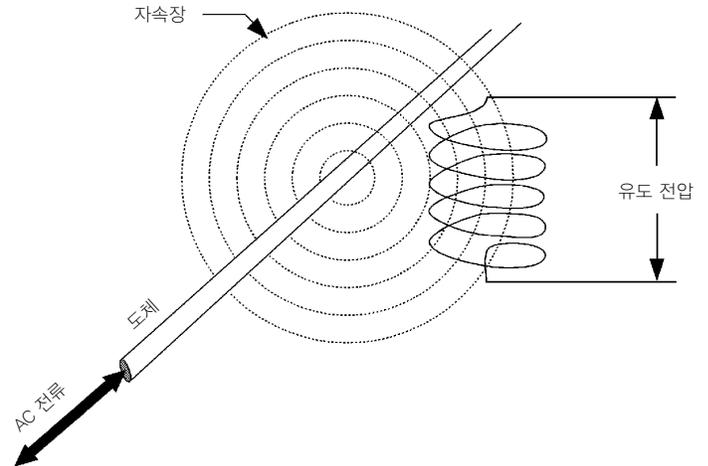
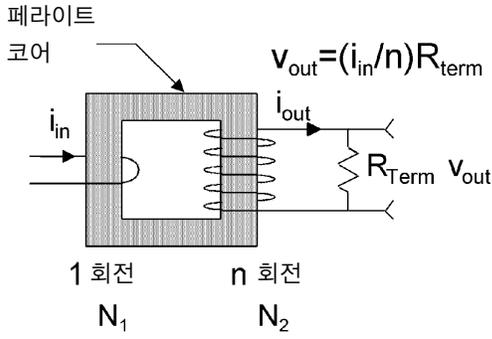


그림 2.6. 교류(AC)가 흐르는 도체 주변의 변화하는 자속장 안에 코일이 있을 경우 그 주변에 전압이 유도됩니다.

DC 부근에서 대역폭이 시작되는 프로브의 경우, DC를 감지할 수 있도록 프로브 설계에 홀(Hall) 효과 장치를 추가할 수 있습니다. 그 결과는 DC에서 대역폭이 시작되며 지정된 상단 주파수 3dB 지점까지 확장되는 AC/DC 프로브입니다. 이 유형의 프로브에는 최소한 DC 감지에 사용되는 홀 효과 장치를 바이어싱할 수 있는 전원 소스가 필요합니다. 또한 AC 및 DC 레벨을 조합 및 스케일 조정하여 오실로스코프에서 확인할 수 있는 단일 출력 파형을 만들려면 프로브 설계에 따라 전류 프로브 증폭기가 필요할 수 있습니다.



변압기 방정식

전압, $v: v_2/v_1=N_2/N_1$

전류, $i: i_2/i_1=N_1/N_2$

임피던스, $Z: Z_1=(N_1/N_2)^2Z_2$

전력, $P: P_2=P_1$

그림 2.7. 전류가 흐르는 도체(N₁)는 AC 변압기 작용을 통해 AC 프로브의 코일(N₂)에 전류를 유도하여 프로브의 종단(R_{term})에 전류 비례 전압을 발생시킵니다.

전류 프로브가 본질적으로 면밀하게 커플링된 변압기로 작동한다는 점을 기억하는 것이 중요합니다. 이 개념은 그림 2.7에 기본적인 변압기 방정식과 함께 나와 있습니다. 표준 작업의 경우 감지 대상 전류 도체는 1회전 권선(N₁)입니다. 이 1회전 권선에서 발생된 전류는 권선비(N₂/N₁)와 비례하는 다권선(N₂) 프로브 출력 전압으로 변환됩니다. 동시에 프로브의 임피던스는 연속 삽입 임피던스 형태로 도체에 다시 변환됩니다. 이 삽입 임피던스는 주파수 종속적이며, 특정 프로브의 사양에 따라 1MHz 값이 일반적으로 30 ~ 500MΩ에 속하게 됩니다. 대부분의 경우 전류 프로브에서 발생하는 소량의 삽입 임피던스는 무시할 수 있는 부하입니다.

변압기 원리를 활용하여 그림 2.8에 나온 것처럼 프로브를 통과하여 도체에 루프를 구성하는 방법으로 프로브의 감도를 높일 수 있습니다. 루프가 2개이면 감도가 2배가 되고, 루프가 3개이면 감도가 3배가 됩니다. 하지만 이 방식을 사용하면 삽입 임피던스도 추가되는 회전의 제공만큼 증가합니다.

그림 2.8에는 스플릿 코어 프로브라고 불리는 특별한 종류의 프로브가 나와 있습니다. 이 프로브 유형의 권선은 “U”자 형태의 코어이며 “U”자의 상단을 막게 되는 페라이트 슬라이드로 완성됩니다. 이 프로브 유형의 장점은 페라이트 슬라이드를 밀어 넣어 전류를 측정할 도체에 프로브를 편리하게 물릴 수 있다는 점입니다. 측정이 완료되면 슬라이드를 다시 밀어 넣고 프로브를 다른 도체로 이동할 수 있

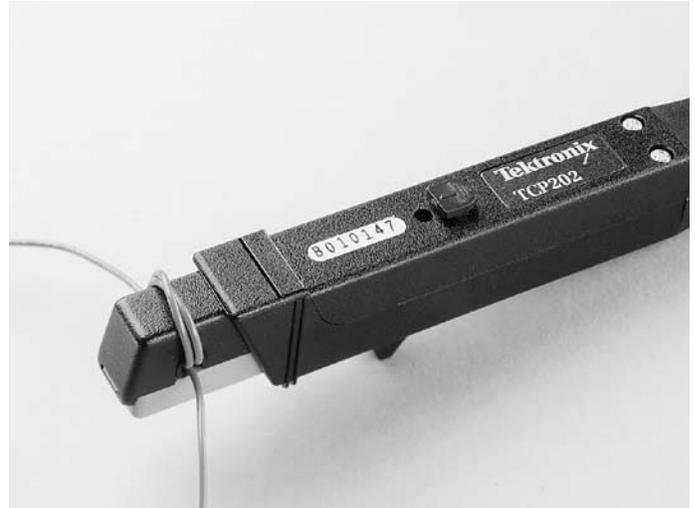


그림 2.8. 스플릿 코어 AC 전류 프로브의 예. 프로브를 관통하여 도체를 n 회전 루프로 만들면 유효 감도가 n배 증가합니다.

습니다.

또한 솔리드 코어 전류 변압기와 함께 사용할 수 있는 프로브도 있습니다. 이러한 변압기는 측정 대상 도체를 완전히 감쌉니다. 결과적으로 이 제품은 측정하려는 도체를 분리하고, 도체가 변압기를 통과하도록 한 다음, 도체를 회로에 다시 연결하는 방식으로 설치해야 합니다. 솔리드 코어 프로브의 가장 큰 장점은 크기가 작으며 초고속, 저진폭 전류 펄스 및 AC 신호를 측정하는 데 적합한 매우 높은 주파수 응답 속도를 제공한다는 것입니다.

솔리드 코어 전류 프로브는 단연코 가장 널리 사용되는 유형입니다. 이 제품은 AC 및 AC/DC 버전으로 공급되며, 암페어-초(amp-sec-ond) 곱에 따라 구역별로 다양한 전류 표시 범위를 지원합니다.

암페어-초 곱은 모든 전류 프로브의 선형 작동에 대한 최대 한계를 정의하는 요소입니다. 이 결과는 전류 펄스에서 평균 전류 진폭에 펄스 폭을 곱한 값으로 정의됩니다. 암페어-초 곱이 초과되면 프로브 코일의 중심 재료가 포화 상태가 됩니다. 포화 상태의 코어는 추가적인 전류 유도 자속을 처리할 수 없으므로 전류 입력과 전압 출력 사이에 더 이상 일정한 비례 관계가 유지될 수 없습니다. 그 결과 암페어-초 곱이 초과되는 부분에서 파형 피크가 본질적으로 “클리핑(clipped off)”하게 됩니다.

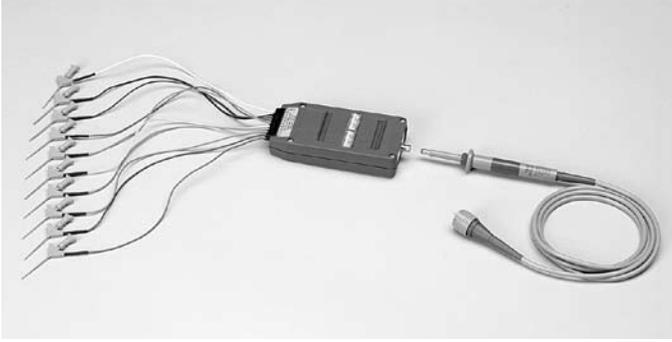


그림 2.9. 워드 인식 프로브. 이 프로브를 활용하면 오실로스코프를 특정 로직 조건에서 특정 데이터 파형을 분석하는 데 사용할 수 있습니다.

코어 포화는 또한 높은 레벨의 직접 전류가 도체를 통과하는 것이 감지됨으로 인해 발생할 수 있습니다. 일부 액티브 전류 프로브는 코어 포화를 방지하고 전류 측정 범위를 효율적으로 확장하고자 버킹 전류(bucking current)를 제공하기도 합니다. 버킹 전류는 테스트 대상 도체의 전류 레벨을 감지한 다음, 프로브를 통해 크기가 같고 방향이 반대인 전류를 다시 공급함으로써 설정됩니다. 상반되는 전류가 상쇄되는 현상을 통해 코어가 포화 상태가 되는 것을 방지하도록 버킹 전류를 조정할 수 있습니다.

전류 측정 요구가 mA에서 kA, DC에서 MHz에 이르기까지 광범위한 만큼 전류 프로브도 폭넓게 존재합니다. 특정 애플리케이션에 적합한 전류 프로브를 선택하는 것은 여러 측면에서 전압 프로브를 선택하는 것과 유사합니다. 전류 처리 기능, 감도 범위, 삽입 임피던스, 연결성, 대역폭/상승 시간 한계 등이 주요 선택 기준이 됩니다. 또한 전류 처리 기능은 주파수에 따라 경감되어야 하며, 프로브의 지정 암페어-초 곱도 초과되지 않아야 합니다.

로직 프로브

디지털 시스템에서 오류는 다양한 원인으로 발생할 수 있습니다. 로직 애널리저가 오류 발생을 식별하고 격리하는 데 사용되는 주요 툴이긴 하지만, 경우에 따라 로직 오류의 실제 원인이 디지털 파형의 아날로그 특성으로 인한 것일 수 있습니다. 펄스 폭 지터, 펄스 진폭 오차, 일반적인 기준 아날로그 노이즈 및 크로스톡은 발생 가능한 수많은 디지털 오류의 아날로그적 원인 중 일부일 뿐입니다.



그림 2.10 MSO(혼합 신호 오실로스코프)용 로직 프로브를 활용하면 장치에 대한 디지털 연결을 간소화할 수 있습니다.

디지털 파형의 아날로그 특성을 분석하려면 오실로스코프를 사용해야 합니다. 하지만 정확한 원인을 격리하기 위해 디지털 설계자들이 특정 로직 조건에서 발생하는 특정 데이터 펄스를 조사해야 하는 경우가 많습니다. 여기에는 오실로스코프보다 로직 애널리저의 특징에 더 가까운 로직 트리거링 기능이 필요합니다. 이러한 로직 트리거링 기능은 워드 인식 트리거를 사용하거나 혼합 신호 오실로스코프에 연결된 디지털 프로브를 사용하여 대부분의 오실로스코프에 추가할 수 있습니다.

그림 2.9에 나온 특별한 프로브가 바로 TTL 및 TTL 호환 로직용으로 설계된 제품입니다. 이 제품은 최대 17개의 데이터 채널 프로브(16개의 데이터 비트와 검증자)를 제공하며 동기 및 비동기 작동에 모두 호환됩니다. 인식할 트리거 워드는 프로브 헤드에 있는 수동 설정용 소형 스위치를 통해 프로브에 프로그래밍 됩니다. 일치하는 워드가 인식되면 프로브에서 관련 데이터 파형 또는 이벤트를 획득하도록 오실로스코프를 트리거하는 데 사용할 수 있는 Hi(1) 트리거 펄스를 출력합니다.

그림 2.10에 나온 로직 프로브는 2개의 8채널 포드를 제공합니다. 각 채널은 테스트 대상 장치와 간편하게 연결할 수 있도록 접지부가 함몰된 프로브 팁으로 마감되어 있습니다. 각 포드의 첫 번째 채널 동축은 식별하기 쉽도록 파란색으로 표시되어 있습니다. 공통 접지는 오토모티브 스타일 커넥터를 사용하므로 테스트 대상 장치에 맞춤형 접지를 구성하기가 쉽습니다. 사각 핀에 연결하는 경우 프로브 헤드에 장착하는 어댑터를 사용하여 프로브의 접지부를 프로브 팁과 같은 길이로 연장하는 방법으로 헤더에 장착할 수 있습니다. 이러한 프로브는 최소한의 용량성 부하로 뛰어난 전기적 특성을 제공합니다.



그림 2.11. 하이브리드 회로 및 IC와 같은 소형 지오메트리 장치를 프로빙할 수 있도록 설계된 프로빙 스테이션의 예

광학 프로브

광섬유 기반 통신이 도입 및 확산되면서 광학 파형의 확인 및 분석에 대한 요구가 급속하게 확대되고 있습니다. 이러한 통신 시스템 문제 해결 및 분석 요구에 대응하여 다양한 전문 광학 시스템 분석기가 개발되었습니다. 한편 광학 컴포넌트를 개발 및 검증하는 동안 범용 광학 파형 측정 및 분석에 대한 요구도 확대되고 있습니다. 광학 프로브는 이러한 요구에 대응하여 오실로스코프에서 광학 신호를 확인할 수 있는 제품입니다.

광학 프로브는 광-전기 컨버터입니다. 광학 측면에서 볼 때 측정 대상 장치의 특정 광 커넥터 및 파이버 유형 또는 광 모드에 일치하는 프로브를 선택해야 합니다. 전기 측면에서는 표준적인 프로브 대 오실로스코프 매칭 기준에 따라야 합니다.

기타 프로브 유형

위에 언급된 모든 “표준에 가까운” 프로브 유형 이외에도 특수 프로브 및 프로빙 시스템이 다양하게 존재합니다. 그 종류는 다음과 같습니다.

- **환경 프로브:** 매우 폭넓은 온도 범위에서 작동하도록 설계된 제품입니다.

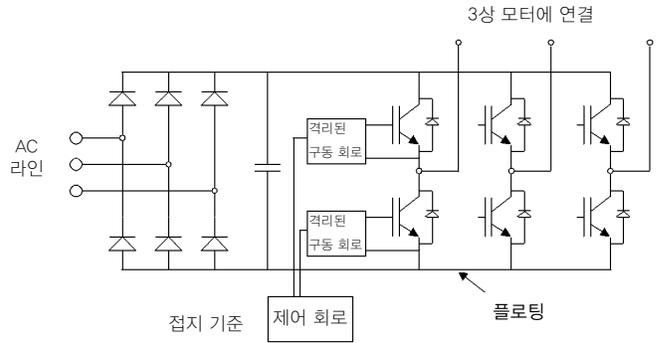


그림 2.12. 이 3상 모터 드라이브의 경우 모든 지점이 접지 위이므로 플로팅 측정이 필수적입니다.

- **온도 프로브:** 컴포넌트 및 기타 열 발생 품목의 온도를 측정하는데 사용됩니다.
- **프로빙 스테이션 및 관절형 암(그림 2.11):** 멀티 칩 모듈, 하이브리드 회로 및 IC와 같이 정밀 피치 장치를 프로빙할 때 사용됩니다.

플로팅 측정

플로팅 측정이란 접지 전위가 아닌 두 지점 사이에서 행하는 측정을 의미합니다. 이 설명이 앞서 차동 프로브와 관련하여 언급된 차동 측정과 비슷하게 들린다면 정확하게 이해하셨습니다. 플로팅 측정은 일종의 차동 측정이며, 실제로 차동 프로브를 사용하여 플로팅 측정을 할 수 있습니다.

하지만 일반적으로 “플로팅 측정”이란 용어는 전력 시스템 측정을 지칭할 때 사용됩니다. 그 예로는 측정 지점이 모두 접지(대지 전위)가 아니며 신호 “커먼”이 접지에서 수백 볼트까지 상승(플로팅)될 수 있는 스위칭 파워 공급 장치, 모터 드라이브, 밸러스트, 무중단 전원 소스 등이 있습니다. 대개 이러한 측정에서는 높은 커먼 모드 신호를 제거해야만 이에 편승하는 저레벨 신호를 평가할 수 있습니다. 또한 관련 없는 접지 전류가 디스플레이에 험을 추가하여 측정을 더 어렵게 만들 수 있습니다.

일반적인 플로팅 측정 상황의 예가 그림 2.12에 나와 있습니다. 이 모터 드라이브 시스템에서 3상 AC 라인에는 최고 600V의 플로팅 DC 버스로 정류됩니다. 접지 기준 제어 회로는 브리지 트랜지스터에 대해 격리된 드라이버를 통해 펄스 변조 게이트 구동 신호를 발생시켜 각 출력이 펄스 변조 주파수에서 최대 버스 전압을 끌어내도록 만듭니다. 게이트 대 이미터 전압을 정확히 측정하려면 버스 트랜지션을 제거해야 합니다. 더불어, 모터 드라이브의 조밀한 설계, 고속 전류 트랜지션 및 회전하는 모터에 대한 근접함도 열악한 EMI 환경의 원인이 되는 요소입니다.

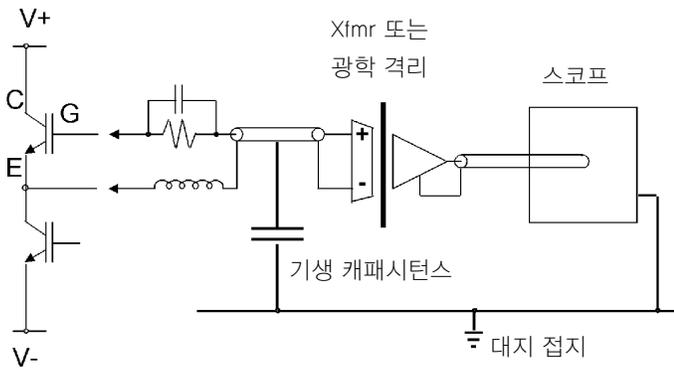


그림 2.13. 플로팅 측정을 위한 프로브 격리의 예

또한 오실로스코프 프로브의 접지 리드가 모터 드라이브 회로의 한 부분에 연결되면 접지 단락이 발생합니다.

프로브 격리는 오실로스코프를 플로팅시키지 않고 프로브만을 플로팅시킵니다. 이러한 프로브의 격리는 그림 2.13에 나온 변압기 또는 광학 커플링 메커니즘을 통해 구현할 수 있습니다. 이 경우, 오실로스코프는 원래 그래야 하는 것처럼 접지가 유지되며, 격리된 프로브의 팁과 레퍼런스 리드에 차동 신호가 적용됩니다. 격리기를 통해 차동 신호를 리시버로 전송하며, 리시버는 차동 입력 신호에 비례하는 접지 기준의 신호를 생성합니다. 따라서 프로브 격리는 거의 모든 계측기와 호환됩니다.

다양한 요구에 대응하기 위해 다양한 유형의 격리기가 공급되고 있습니다. 여기에는 개별 레퍼런스 리드를 포함하여 2채널 이상을 제공하는 멀티 채널 격리기도 포함됩니다. 또한 격리기가 계측기와 물리적으로 먼 거리(예: 100미터 이상)로 분리되어야 하는 경우 사용할 수 있는 광섬유 기반의 격리기도 공급되고 있습니다. 차동 프로브의 경우처럼 격리기를 선택할 때 핵심 기준은 대역폭과 CMRR입니다. 더불어 최대 작동 전압도 격리 시스템의 주요 사양인데, 일반적으로 600V RMS 또는 850V(DC+피크 AC)입니다.

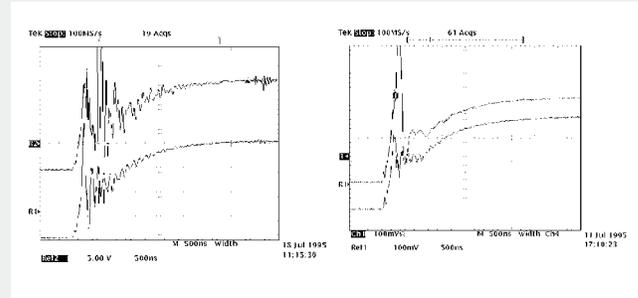


그림 2.14. 오실로스코프를 플로팅시키는 것(a)은 위험할 뿐더러 프로브 격리기를 사용하는 안전한 방법(b)에 비해 측정에 상당한 링잉을 일으킬 수 있습니다.

위험

일부 오실로스코프 사용자는 이러한 접지 직접 단락을 방지하고자 오실로스코프의 접지 회로를 무력화하는 위험한 방법을 사용하기도 합니다. 그럴 경우 오실로스코프의 접지 리드가 모터 드라이브 회로와 플로팅하므로 차동 측정이 가능하게 됩니다. 불행히도 이 방법을 사용하면 오실로스코프 사용자에게 위험하거나 치명적인 감전 위험이 될 수 있는 전위에서 오실로스코프 새시가 플로팅됩니다.

오실로스코프의 “플로팅”은 위험한 방법일 뿐 아니라 측정 결과 또한 노이즈와 다른 영향으로 인해 악화됩니다. 이 내용이 그림 2.14a에 나와 있으며, 모터 드라이브 장비의 게이트 대 이미터 전압 중 하나를 플로팅된 오실로스코프로 측정한 결과입니다. 그림 2.14a의 하단 트레이스는 로우 사이드 게이트-이미터 전압이며, 상단 트레이스는 하이 사이드 전압입니다. 두 트레이스 모두 상당한 링잉 현상이 있음에 주목하십시오. 이러한 링잉은 오실로스코프의 새시와 대지 접지 사이의 커다란 기생 캐패시턴스로 인한 것입니다.

그림 2.14b는 동일한 측정의 결과이지만, 이 경우 오실로스코프가 적절히 접지된 상태에서 프로브 격리기를 통해 측정이 수행되었습니다. 측정 결과에서 링잉이 없어졌을 뿐 아니라, 오실로스코프가 더 이상 접지 위에서 플로팅하지 않으므로 훨씬 더 안전하게 측정을 수행할 수 있습니다.



그림 2.15. 일반적인 범용 전압 프로브와 표준 액세서리

프로브 액세서리

대부분의 프로브에는 표준 액세서리 패키지가 함께 제공됩니다. 이러한 액세서리에는 일반적으로 프로브에 장착하는 접지 리드 클립, 보상 조정 톨, 프로브를 다양한 테스트 지점에 연결할 수 있도록 해주는 하나 이상의 프로브 팁 액세서리가 포함됩니다. 그림 2.15에 일반적인 범용 전압 프로브와 표준 액세서리의 예가 나와 있습니다.

SMD(표면 실장 소자) 프로빙과 같은 특정 분야의 애플리케이션용으로 설계된 프로브에는 표준 액세서리 패키지에 추가 프로브 팁 어댑터가 포함될 수 있습니다. 또한 다양한 특수 목적용 액세서리도 프로브에 사용할 옵션으로 구매할 수 있습니다. 그림 2.16에 소형 지오메트리 프로브에 사용하도록 설계된 몇 가지 유형의 프로브 팁 어댑터가 나와 있습니다.

대부분의 프로브 액세서리, 특히 프로브 팁 어댑터가 특정 프로브 모델과 함께 사용하도록 설계되었다는 점을 인지하는 것이 중요합니다. 여러 프로브 모델 또는 프로브 제조사의 어댑터를 바꿔 사용하는 것은 테스트 지점과 연결이 불량하게 되거나 프로브 또는 프로브 어댑터가 손상될 수 있으므로 권장하지 않습니다.

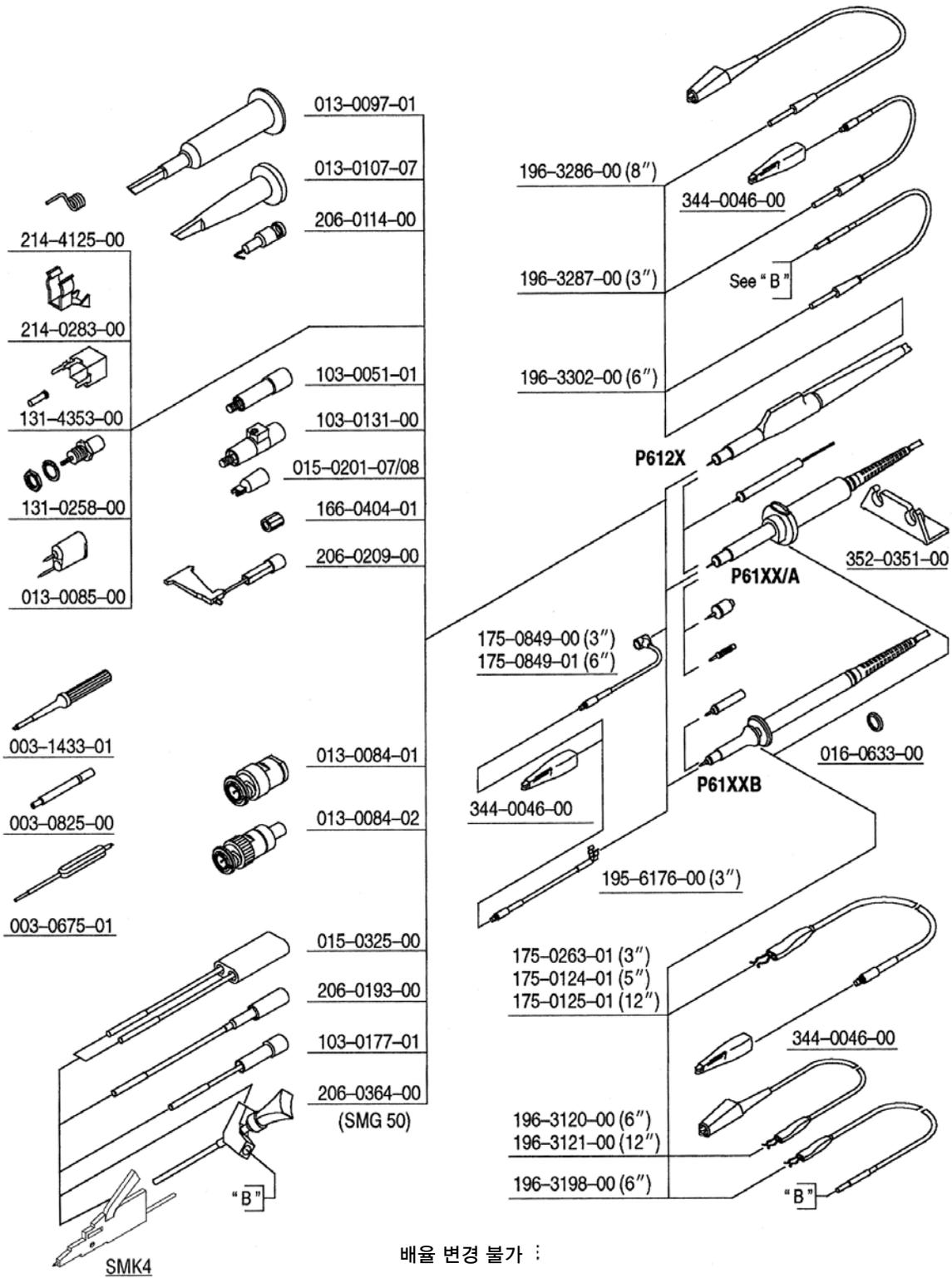


그림 2.16. 소형 지오메트리 프로브용 프로브 팁 어댑터의 몇 가지 예, 이러한 어댑터를 사용하면 소형 회로를 훨씬 쉽게 프로빙할 수 있으며, 무결성 높은 프로브 대 테스트 지점 연결을 제공함으로써 측정 정밀도도 높일 수 있습니다.

구매할 프로브를 선택할 때는 프로빙 대상 회로의 유형과 프로빙 작업을 빠르고 쉽게 만들어줄 어댑터 또는 액세서리에 대해 고려하는 것이 중요합니다. 많은 경우 저렴한 기본형 프로브는 다양한 어댑터 옵션을 제공하지 않습니다. 반면 오실로스코프 제조사에서 공급되는 프로브는 대개 액세서리 선택권이 매우 폭넓어 프로브를 특별한 용도에 사용할 수 있습니다. 그 예가 그림 2.17에 나와 있으며, 특정 종류의 프로브에 사용할 수 있는 다양한 액세서리와 옵션을 보여줍니다. 이러한 액세서리와 옵션은 물론 다양한 프로브 종류와 모델에 따라 달라집니다.

X프로브 팁 시스템

프로브 접지 시스템 M



배울 변경 불가 :

그림 2.17. 5mm(소형) 프로브 시스템에 사용할 수 있는 다양한 액세서리의 예. 다른 프로브 제품군의 경우 해당 프로브 제품군의 계획된 용도에 따라 다른 액세서리가 공급됩니다.

프로브 선택 가이드

이전 장에서는 프로브의 기능, 다양한 프로브 유형 및 측정에 미치는 영향이라는 측면에서 오실로스코프 프로브와 관련된 폭넓은 범위의 주제를 다루었습니다. 대부분의 경우는 프로브를 테스트 지점에 연결했을 때 어떤 일이 일어나는지에 중점을 둔 것이었습니다.

이번 장에서는 시그널 소스에 초점을 두고 적절한 프로브 선택의 기준이 되는 그 특성을 해석하는 방법에 대해 알아보겠습니다.

항상 목표는 신호를 오실로스코프에 가장 잘 전달할 수 있는 프로브를 선택하는 것입니다. 하지만 그것만이 전부 아닙니다. 오실로스코프에도 프로브 선택 과정의 일부로 고려해야 하는 일정한 요구 조건이 있습니다.

이 장에서는 시그널 소스에 따라 적용되는 요구 조건을 이해하는 것을 시작으로, 다양한 선택 조건에 대해 알아보겠습니다.

적절한 프로브 선택

오실로스코프 측정 애플리케이션과 요구가 광범위한 만큼 시판되는 오실로스코프 프로브의 선택의 폭도 넓습니다. 하지만 이로 인해 프로브 선택 절차가 혼란스러울 수 있습니다.

혼란을 대폭 줄이고 선택 절차를 좁히려면 항상 오실로스코프 제조사의 프로브 관련 권장안을 따르십시오. 이는 오실로스코프가 서로 다른 대역폭, 상승 시간, 감도 및 입력 임피던스 고려 사항에 따라 설계되기 때문에 중요한 사항입니다. 오실로스코프의 측정 기능을 최대한 활용하려면 오실로스코프의 설계 시 고려 사항에 일치하는 프로브가 필요합니다.

더불어, 프로브 선택 절차에 사용자의 측정 요구에 대한 고려도 포함되어야 합니다. 무엇을 측정하고자 합니까? 전압? 전류? 또는 광학 신호? 신호 유형에 적절한 프로브를 선택하면 직접적인 측정 결과를 더 빠르게 얻을 수 있습니다.

또한 측정하는 신호의 진폭도 고려해야 합니다. 진폭이 오실로스코프의 다이내믹 레인지 이내입니까? 그렇지 않을 경우 다이내믹 레인지를 조절할 수 있는 프로브를 선택해야 합니다. 일반적으로 이는 10X 이상의 프로브를 사용한 감쇠로 해결됩니다.

프로브 팁의 대역폭 또는 상승 시간이 측정하려는 신호 주파수 또는 상승 시간을 초과하는지 확인하십시오. 항상 비사인파 신호에 신호의 기본 주파수 이상으로 대폭 확장되는 중요한 주파수 성분 또는 고조파가 존재함을 염두에 두십시오. 예를 들어, 100MHz 사각파의 5차 고조파를 완벽하게 다루려면 프로브 팁에서 500MHz의 대역폭을 제공하는 측정 시스템이 필요합니다. 마찬가지로, 오실로스코프 시스템의 상승 시간도 측정하려는 신호의 상승 시간보다 3 ~ 5배 빨라야 합니다.

또한 항상 프로브에 의해 발생할 수 있는 신호 부하 작용을 염두에 두십시오. 가능하면 저항이 높고 캐패시턴스가 낮은 프로브를 찾으십시오. 대부분의 애플리케이션에서 캐패시턴스가 20pF 이하인 10MΩ 프로브라면 시그널 소스 부하 작용에 대비한 충분한 보장이 될 것입니다. 하지만 일부 고속 디지털 회로의 경우 액티브 프로브가 제공하는 낮은 팁 캐패시턴스를 선택해야 할 수도 있습니다.

마지막으로, 프로브를 회로에 연결할 수 있어야 측정을 수행할 수 있다는 점을 잊지 마십시오. 그러면 손쉽고 편리하게 회로에 부착할 수 있는 프로브 헤드 크기 및 프로브 팁 어댑터에 대한 특별한 선택 고려 사항이 필요할 수 있습니다.

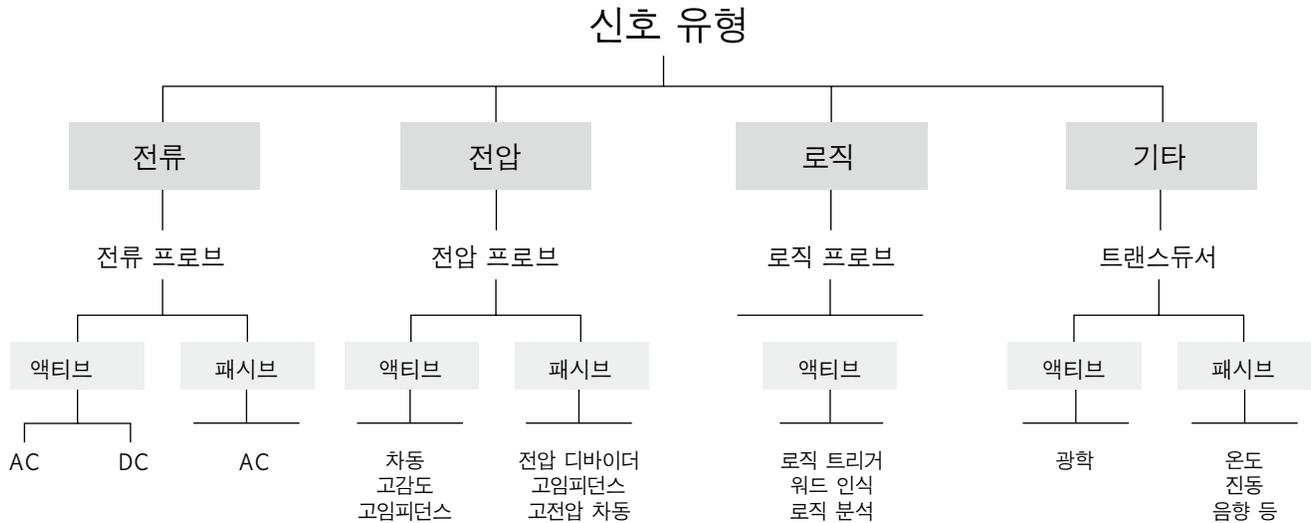


그림 3.1. 측정할 신호 유형에 따라 분류한 다양한 프로브 범주

시그널 소스의 이해

프로브를 선택할 때 고려해야 할 기본적인 시그널 소스 문제에는 네 가지가 있습니다. 이는 신호 유형, 신호 주파수 성분, 소스 임피던스, 테스트 지점의 물리적 특성입니다. 각각의 문제는 아래 부분에서 다루겠습니다.

신호 유형

프로브 선택의 첫 단계는 프로빙할 신호의 유형을 평가하는 것입니다. 이러한 목표를 바탕으로 신호를 다음과 같은 범주로 분류할 수 있습니다.

- 전압 신호
- 전류 신호
- 로직 신호
- 기타 신호

전압 신호는 전자 측정에서 가장 흔히 볼 수 있는 신호 유형입니다. 이는 전압 감지 프로브가 가장 흔한 오실로스코프 프로브 유형인 이유입니다. 또한 오실로스코프의 입력에는 전압 신호가 필요하므로, 다른 유형의 오실로스코프도 본질적으로 감지한 현상을 해당되는 전압 신호로 변환하는 트랜스듀서라는 사실도 유의할 필요가 있습니다. 그 일반적인 예는 전류 프로브로, 전류 신호를 오실로스코프에서 볼 수 있는 전압 신호로 변환합니다.

로직 신호는 사실상 전압 신호의 특별한 범주에 속합니다. 로직 신호를 표준 전압 프로브로 확인할 수 있기는 하지만, 특정 로직 이벤트를 확인해야 하는 경우가 더 흔합니다. 이는 특정 로직 조합이 발생하는 경우 오실로스코프에 트리거 신호를 보내도록 로직 프로브를 설정하는 것으로 가능합니다.

이를 통해 특정 로직 이벤트를 오실로스코프 디스플레이에서 확인할 수 있습니다.

전압, 전류, 로직 신호 외에도 관심 신호가 될 수 있는 다른 유형의 신호는 무수히 존재합니다. 여기에는 광학, 기계, 온도, 음향 및 기타 소스에서 발생한 신호가 포함됩니다. 다양한 트랜스듀서는 이러한 신호를 오실로스코프에서 표시 및 측정할 수 있도록 해당 전압 신호로 변환하는 데 사용됩니다. 이 작업이 완료되면 트랜스듀서는 트랜스듀서 신호를 오실로스코프에 전달하는 프로브를 선택할 목적의 시그널 소스가 될 수 있습니다.

그림 3.1에 측정할 신호 유형을 기준으로 한 프로브의 그래픽 형태 범주가 나와 있습니다. 각 범주에는 추가적인 신호 특성이나 오실로스코프 요구 조건에 따라 결정되는 다양한 프로브 하위 범주가 포함되어 있습니다.

신호 주파수 성분

모든 신호는 유형에 관계없이 주파수 성분을 가지고 있습니다. DC 신호의 주파수는 0Hz이며, 순수 사인파는 사인 곡선의 주기에 반비례하는 단일 주파수를 가집니다. 다른 모든 신호에는 복수의 주파수가 포함되어 있으며, 그 값은 신호 파형에 따라 결정됩니다. 예를 들어, 대칭 사각파에는 해당 사각파의 주기에 반비례하는 기본 주파수(f_0)와 기본 주파수의 홀수 배수인 추가 고조파 주파수($3f_0, 5f_0, 7f_0, \dots$)가 포함됩니다. 기본 주파수는 파형의 토대이며, 고조파는 기본 주파수와 결합하여 파형의 트랜지션 및 모서리와 같은 구조적 세부 정보를 추가하는 역할을 합니다.

프로브가 적절한 신호 충실도를 유지하면서 오실로스코프에 신호를 전달하려면, 해당 프로브가 신호의 주요 주파수 성분을 최소한의 장애로 통과시키는 데 충분한 대역폭을 가지고 있어야 합니다. 사각파 및 기타 주기적 신호의 경우, 이는 일반적으로 프로브 대역폭인 신호의 기본 주파수보다 3 ~ 5배 높아야 함을 의미합니다. 그래야만 기본 주파수 및 초기 몇 고조파를 관련 진폭의 과도한 감쇠 없이 통과시킬 수 있습니다. 차수가 높은 고조파도 통과되기는 하지만 프로브의 3dB 대역폭 지점 이후이므로 감쇠되는 양이 많아집니다. 하지만 차수가 높은 고조파도 최소한 일정 수준 존재하며, 파형의 구조에 어느 정도 기여할 수 있습니다.

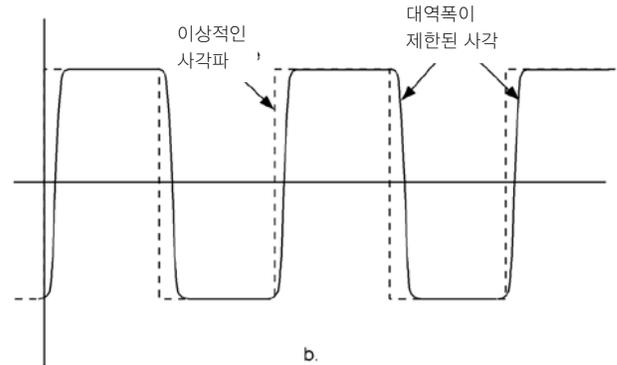
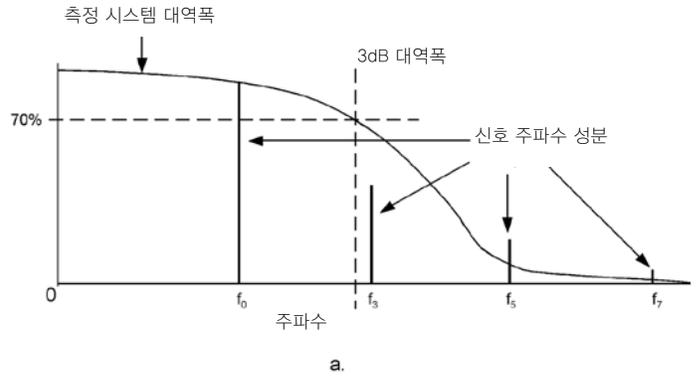


그림 3.2. 신호의 주요 주파수 성분이 측정 시스템 대역폭을 벗어난 경우(a), 높은 수준의 감쇠를 거치게 됩니다. 그 결과 모서리 부분의 라운딩과 트랜지션의 연장으로 인해 파형 정보가 손실됩니다(b).

대역폭 제한의 가장 중요한 영향은 신호 진폭의 감소입니다. 신호의 기본 주파수가 프로브의 3dB 대역폭에 가까울수록 프로브 출력에서 나타나는 전반적인 신호 진폭이 낮아집니다. 3dB 지점에서는 진폭이 30% 감소됩니다. 또한 프로브의 대역폭을 넘어 확장되는 신호의 고조파 또는 기타 주파수 성분은 대역폭 롤오프(roll-off)로 인해 감쇠 정도가 높아집니다. 고조파 성분에 대한 높은 감쇠 정도의 결과는 날카로운 모서리의 라운딩과 고속 파형 트랜지션의 속도 감소로 확인할 수 있습니다(그림 3.2 참조).

프로브 팁 캐패시턴스 또한 신호 트랜지션 상승 시간을 제한할 수 있다는 점에 유의해야 합니다. 단, 이는 다음 주제인 시그널 소스 임피던스 및 시그널 소스 부하 작용과 관련이 있습니다.

시그널 소스 임피던스

소스 임피던스에 대한 논의는 다음과 같은 핵심 요점으로 정리할 수 있습니다.

1. 프로브의 임피던스는 시그널 소스 임피던스와 결합하여 신호 진폭 및 신호 상승 시간에 영향을 주는 새로운 신호 부하 임피던스를 만들어 냅니다.
2. 프로브 임피던스가 시그널 소스 임피던스보다 충분히 크다면 신호 진폭에 대한 프로브의 영향은 무시할 수 있게 됩니다.
3. 프로브 팁 캐패시턴스는 입력 캐패시턴스이라고도 불리며, 신호의 상승 시간을 늘리는 효과가 있습니다. 이는 프로브의 입력 캐패시턴스를 10%에서 90% 수준으로 충전하는 데 필요한 시간 때문이며, 다음과 같이 구할 수 있습니다.

$$t_r = 2.2 \times R_{\text{source}} \times C_{\text{probe}}$$

위와 같은 관점에서 볼 때 시그널 소스에 대한 프로브 부하를 최소화하기 위해선 임피던스가 높고 캐패시턴스가 낮은 프로브를 선택하는 것이 최선입니다. 또한 가능하면 낮은 임피던스의 신호 테스트 지점을 선택하는 것도 프로브의 부하 작용 효과를 최소화하는 데 도움이 됩니다. 프로브 임피던스와 상호 작용에 따른 영향 및 시그널 소스 임피던스에 대한 자세한 내용은 “다양한 요구에 따라 다양하게 선택되는 프로브” 부분을 참조하십시오.

물리적 연결 관련 고려 사항

신호 테스트 지점의 위치와 형상 또한 프로브 선택에서 중요한 고려 사항이라고 할 수 있습니다. 프로브를 테스트 지점에 접촉한 상태로 신호를 오실로스코프에서 관찰하는 것으로 충분합니까, 아니면 신호 모니터링을 위해 프로브를 테스트 지점에 연결한 상태로 놔두고 다양한 회로 조정을 실행해야 합니까? 전자의 경우 바늘 형태의 프로브 팁이 적절하며, 후자의 경우 일종의 신축성 고리형 팁이 필요합니다.

테스트 지점의 크기 또한 프로브 선택에 영향을 줄 수 있습니다. 표준 크기의 프로브와 액세스리는 커넥터 핀, 저항 리드, 백플레인의 프로빙 작업에 문제가 없습니다. 하지만 표면 실장 회로를 프로빙하는

경우, 더 작은 프로브와 표면 실장 애플리케이션용으로 설계된 액세스리가 권장됩니다.

목표는 사용자의 특정 애플리케이션에 가장 적합한 프로브 크기, 형상, 액세스리를 선택하는 것입니다. 그래야만 프로브를 테스트 지점에 신속하고 간편하며 안정적으로 연결하여 신뢰성 높은 측정을 할 수 있습니다.

오실로스코프의 이해

오실로스코프 문제도 시그널 소스 문제만큼 프로브 선택에 영향을 줍니다. 프로브가 오실로스코프와 잘 맞지 않는다면 프로브의 오실로스코프쪽 선단에서 신호 충실도가 저하됩니다.

대역폭 및 상승 시간

오실로스코프와 프로브가 함께 측정 시스템으로 작동한다는 점을 인지하는 것이 중요합니다. 따라서 사용되는 오실로스코프의 대역폭 및 상승 시간 사양은 사용되는 프로브의 그것과 동등하거나 이를 초과하고, 조사할 신호에 적합해야 합니다.

일반적으로 프로브와 오실로스코프 사이의 대역폭 및 상승 시간 상호 작용은 복잡합니다. 이러한 복잡성으로 인해 대부분의 오실로스코프 제조사들은 특정 오실로스코프와 함께 사용 되도록 설계된 특정 프로브 모델에 대해 프로브 팁까지의 오실로스코프 대역폭 및 상승 시간을 지정합니다. 조사하려는 신호에 적절한 오실로스코프 시스템 대역폭 및 상승 시간을 확보하려면 오실로스코프 제조사의 프로브 권장안을 따르는 것이 가장 좋은 방법입니다.

입력 저항 및 캐패시턴스

모든 오실로스코프는 입력 저항과 입력 캐패시턴스를 가집니다. 최대 신호 전송률을 확보하려면 아래처럼 오실로스코프의 입력 R 및 C가 프로브의 출력에서 제공하는 R 및 C와 일치해야 합니다.

$$R_{\text{scope}}C_{\text{scope}} = R_{\text{probe}}C_{\text{probe}} = \text{최적의 신호 전송}$$

더 자세히 말하자면 50Ω의 오실로스코프 입력에는 50Ω 프로브가 필요하며, 1MΩ의 오실로스코프 입력에는 1MΩ 프로브가 필요합니다. 1MΩ 오실로스코프도 적절한 50Ω 어댑터를 사용한다면 50Ω 프로브와 함께 사용할 수 있습니다.

또한 프로브 대 오실로스코프의 캐패시턴스도 일치해야 합니다. 이는 특정 오실로스코프 모델과 함께 사용되도록 설계된 프로브를 선택하는 방법으로 해결할 수 있습니다. 더불어, 많은 프로브에는 사소한 캐패시턴스 변동을 보상하여 정밀한 매칭을 제공하는 보상 조정 기능이 있습니다. 프로브를 오실로스코프에 연결할 때마다 해야 할 첫 번째 작업은 프로브의 보상 수치를 조정하는 것입니다. 적절한 프로브 선택과 적절한 보상 조정을 통해 프로브를 오실로스코프에 적절히 매칭하지 못하면 심각한 측정 오류가 발생할 수 있습니다.

감도

오실로스코프의 수직 감도 범위는 신호 진폭 측정에서 전반적인 다이내믹 레인지를 결정하는 요소입니다. 예를 들어, 10 구역의 수직 디스플레이 범위와 1mV/구역 ~ 10V/구역의 감도 범위를 가진 오실로스코프라면 0.1mV ~ 100V의 실용 수직 다이내믹 레인지를 제공합니다. 측정하려는 여러 신호의 진폭이 0.05mV ~ 150V 범위인 경우 위에서 예로 든 오실로스코프의 기본 다이내믹 레인지로는 낮은 쪽과 높은 쪽 모두 부족하게 됩니다. 하지만 이러한 결점은 측정하려는 여러 신호에 적합한 프로브를 선택함으로써 해결할 수 있습니다.

고진폭 신호의 경우 어테뉴에이터 프로브를 사용하여 오실로스코프의 다이내믹 레인지를 확장할 수 있습니다. 예를 들어 10X 프로브의 경우 오실로스코프의 감도 범위를 사실상 10배로 올려주며, 예제 오실로스코프의 경우 10mV/구역에서 100V/구역으로 상승됩니다. 이는 105V 신호에 적합한 범위를 제공할 뿐 아니라 1000V의 최상급 오실로스코프 디스플레이 범위도 제공합니다. 단, 프로브를 신호에 연결하기 전에 신호가 프로브의 최대 전압 용량을 초과하지 않는지 확인해야 합니다.

주의

항상 프로브의 최대 지정 전압 용량을 준수하십시오. 프로브를 해당 용량을 초과하는 전압에 연결하면 신변 부상과 더불어 장비의 손상이 발생할 수 있습니다.

저진폭 신호의 경우, 프로브 증폭기 시스템을 사용하여 오실로스코프의 작동 범위를 더 낮은 감도까지 확장할 수 있습니다. 여기에는 일반적으로 예를 들어 10μV/구역의 감도를 제공할 수 있는 차동 증폭기가 사용됩니다.

이러한 프로브 증폭기 시스템은 고도로 전문화된 기술이며, 특정 오실로스코프 모델에 매칭 되도록 설계되어 있습니다. 따라서, 오실로스코프를 선택할 때 항상 제조사의 권장 액세서리 목록에서 자신의 소량 신호 애플리케이션 요구 조건을 만족하는 차동 프로브 시스템이 있는지 확인하는 것이 중요합니다.

주의

차동 프로브 시스템에는 정전기 방전을 비롯하여 과전압으로 인해 손상될 수 있는 민감한 컴포넌트가 포함된 경우가 많습니다. 프로브 시스템의 손상을 방지하려면 항상 제조사의 권장안을 준수하고 모든 주의 사항을 지키십시오.

리드아웃 기능

대부분의 최신 오실로스코프는 수직 및 수평 감도 설정(볼트/구역 및 초/구역)의 화면 리드아웃 기능을 제공합니다. 또한 이러한 오실로스코프는 대개 프로브 감지 및 리드아웃 처리 기능도 제공하므로 리드아웃을 통해 사용하는 프로브 유형을 적절히 추적할 수 있습니다. 예를 들어, 10X 프로브를 사용하는 경우, 오실로스코프가 수직 리드아웃을 10X 계수로 조정하여 이를 적절히 반영해야 합니다. 전류 프로브를 사용하는 경우에는 적절한 측정 단위가 반영되어 수직 리드아웃이 볼트/구역에서 암페어/구역으로 변경됩니다.

이러한 리드아웃 기능을 활용하려면 오실로스코프의 리드아웃 시스템과 호환되는 프로브를 사용하는 것이 중요합니다. 즉, 특정 오실로스코프와 함께 사용하는 프로브에 대한 제조사의 권장안을 따라야 합니다. 이는 다수의 범용 또는 기본형 프로브에서 완벽하게 지원하지 못할 수도 있는 첨단 리드아웃 기능을 갖춘 신형 오실로스코프에서 특히 중요합니다.

적절한 프로브 선택

앞서 설명한 모든 시그널 소스 및 오실로스코프 문제를 고려하면, 일체의 지원 없이 적절한 프로브를 선택하기란 분명히 어려운 작업입니다. 실제로 프로브 상승 시간 및 오실로스코프 입력 C와 같은 일부 핵심 선택 기준이 항상 지정되어 있는 것이 아니기 때문에 경우에 따라 선택 절차가 어림짐작으로 이루어질 수도 있습니다.

어림짐작을 피하려면 항상 권장 액세서리 목록에서 폭넓은 프로브 선택권을 제공하는 오실로스코프를 선택하는 것이 최선입니다. 또한 새로운 측정 요구 사항이 생겼을 경우에는 오실로스코프 제조사에 사용 중인 오실로스코프의 기능을 확장할 수 있는 새로운 프로브 제품이 있는지 확인하십시오.

마지막으로, 사실상 주어진 모든 애플리케이션에 “적절한” 프로브 선택이란 존재하지 않는다는 점을 기억하십시오. “적절한” 오실로스코프/프로브 조합의 선택만이 가능할 뿐이며, 여기에는 먼저 다음과 관련된 신호 측정 조건을 먼저 정의하는 절차가 필요합니다.

- 신호의 유형(전압, 전류, 광학 등)
- 신호 주파수 성분(대역폭 문제)
- 신호 상승 시간
- 소스 임피던스(R 및 C)
- 신호 진폭(최대, 최소)
- 테스트 지점의 형상(리드형 컴포넌트, 표면 실장 등)

위와 같은 문제를 고려하고 사용자 애플리케이션 고유의 정보로 나머지 부분을 채우면 모든 애플리케이션 요구를 충족하는 오실로스코프와 다양한 호환 프로브를 정할 수 있습니다.

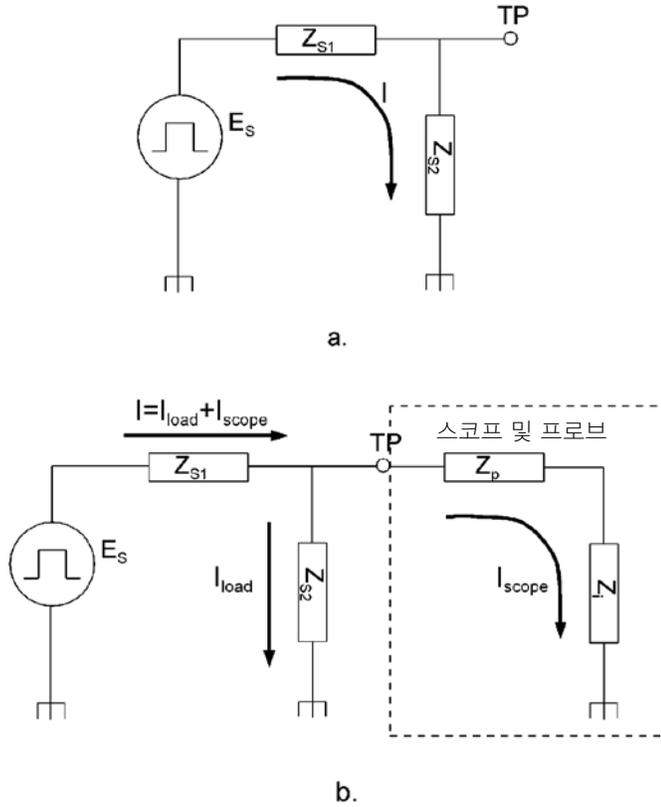


그림 4.1. 테스트 지점(TP)에서 측정되는 신호는 시그널 소스와 관련 부하 임피던스(a)로 나타낼 수 있습니다. 테스트 지점에 대한 프로빙은 소스 부하에 프로브 및 오실로스코프 임피던스를 추가함으로써 일부 전류가 측정 시스템(b)으로 유출되는 원인이 됩니다.

프로브가 측정에 주는 영향

오실로스코프 디스플레이에 신호를 포착하려면 신호 중 일부분이 오실로스코프의 입력 회로로 전환되어야 합니다. 그 예가 그림 4.1에 나와 있으며, 여기서 테스트 지점 TP 이면의 회로는 시그널 소스 E_s 와 E_s 에 대한 정상 부하인 관련 회로 임피던스 Z_{s1} 및 Z_{s2} 로 표현되어 있습니다. 오실로스코프를 테스트 지점에 연결하면 프로브 임피던스 Z_p 및 오실로스코프 입력 임피던스 Z_i 가 시그널 소스의 부하 중 일부가 됩니다.

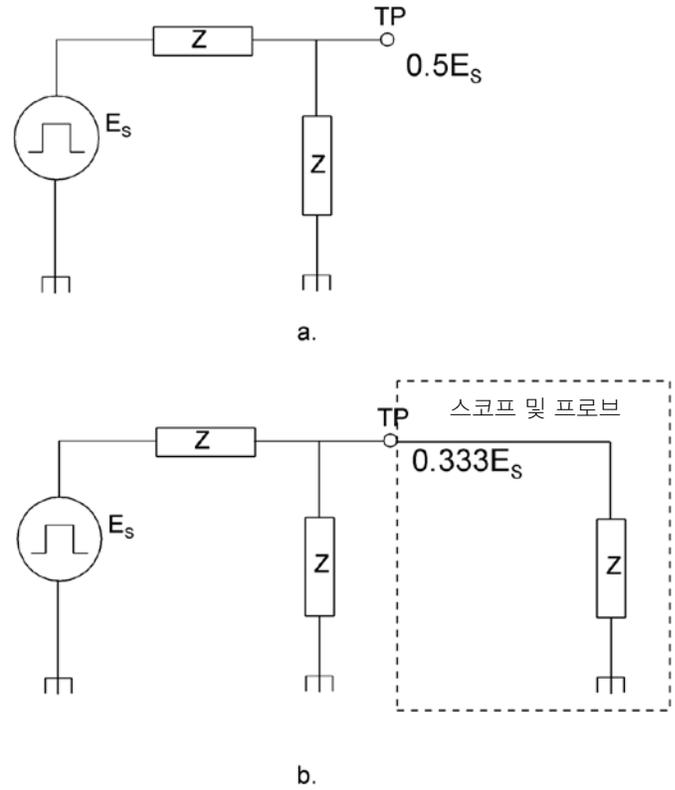


그림 4.2. 소스 임피던스가 높을수록 프로빙으로 인해 발생하는 부하가 커집니다. 이 경우, 임피던스는 모두 동일하며 프로빙은 테스트 지점에서 신호 진폭을 30% 이상 감소시키는 원인이 됩니다.

상대적인 임피던스 값에 따라 프로브 및 오실로스코프를 테스트 지점에 추가하면 다양한 부하 작용 효과가 일어날 수 있습니다.

이 장에서는 부하 작용 효과와 더불어 프로빙의 다른 영향에 대해 자세히 알아보겠습니다.

소스 임피던스의 영향

소스 임피던스의 값은 모든 프로브 부하 작용의 실효에 중요한 영향을 줄 수 있습니다. 예를 들어 소스 임피던스가 낮을 경우 일반적인 고임피던스 10X 프로브의 부하 작용 효과는 거의 눈에 띄지 않습니다. 이는 낮은 임피던스와 병렬로 추가되는 높은 임피던스가 전체 임피던스에 큰 변화를 일으키지 않기 때문입니다.

하지만 더 높은 소스 임피던스에서는 이야기가 완전히 달라집니다. 예를 들어, 그림 4.1에 나온 소스 임피던스가 같은 값을 가지며, 해당 값이 프로브 및 오실로스코프 임피던스의 합계와 같다고 가정해 보십시오. 이 상황이 그림 4.2에 나와 있습니다.

동등한 Z 값에 대해 프로브 및 오실로스코프가 테스트 지점에 연결되지 않은 상태에서 소스 부하는 2Z입니다(그림 4.2a 참조). 이에 따라 프로브가 연결되지 않은 테스트 지점에서 신호 진폭이 $0.5E_s$ 가 됩니다. 하지만 프로브와 오실로스코프가 연결되면(그림 4.2b), 소스에 대한 총 부하가 1.5Z가 되고, 테스트 지점의 신호 진폭은 프로브가 없는 상태의 2/3 값으로 낮아집니다.

후자의 경우 두 가지 방법을 사용하여 프로브의 임피던스 부하 작용 효과를 줄일 수 있습니다. 한 가지 방법은 더 높은 임피던스의 프로브를 사용하는 것입니다. 다른 방법은 회로 내 다른 곳의 신호를 임피던스가 더 낮은 테스트 지점에서 프로빙하는 것입니다. 예를 들어, 캐소드, 이미터 및 소스는 일반적으로 플레이트, 컬렉터 또는 드레인보다 임피던스가 낮습니다.

용량성 부하

신호 주파수 또는 트랜지션 속도가 높아짐에 따라 임피던스의 용량성 요소가 우세하게 되었습니다. 결과적으로, 용량성 부하가 점점 관심이 높아지는 문제가 되었습니다. 특히 용량성 부하는 고속 트랜지션 파형의 상승 및 하강 시간과 파형 내 고주파 성분의 진폭에 영향을 줍니다.

상승 시간에 대한 영향

용량성 부하를 설명하려면 먼저 상승 시간이 아주 빠른 펄스 발생기를 생각해 보십시오. 그 예가 그림 4.3으로, 이상적인 발생기 출력에서 펄스의 상승 시간이 0인 경우입니다($t_r = 0$). 하지만 이와 같은 0의 상승 시간은 소스 임피던스 부하의 관련 저항 및 캐패시턴스에 의한 통합으로 수정됩니다.

RC 통합 네트워크는 항상 $2.2RC$ 의 10 ~ 90% 상승 시간을 만들어 냅니다. 이는 커패시터의 일반 시간 상수 곡선에서 유추한 것입니다. 2.2라는 값은 펄스의 10% ~ 90% 진폭 값에서 R을 통해 C가 충전되는 데 필요한 RC 시간 상수의 수치입니다.

그림 4.3의 경우, 50Ω 및 20pF의 소스 임피던스는 펄스 상승 시간 2.2ns로 이어집니다. 이 $2.2RC$ 값은 펄스가 가질 수 있는 가장 빠른 상승 시간입니다.

펄스 발생기의 출력에 프로브를 연결하면 프로브의 입력 캐패시턴스 및 저항이 펄스 발생기에 추가됩니다. 그 예가 그림 4.4에 나와 있으며, 10MΩ 및 11pF의 일반적인 프로브가 추가되었습니다. 프로브의

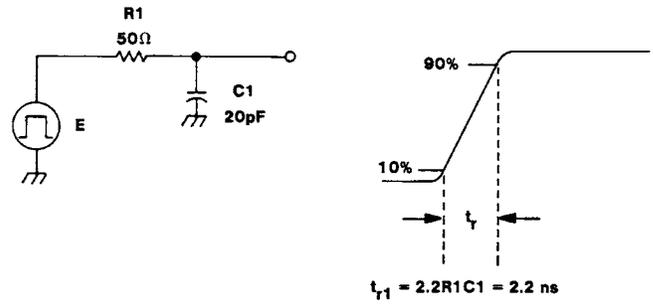
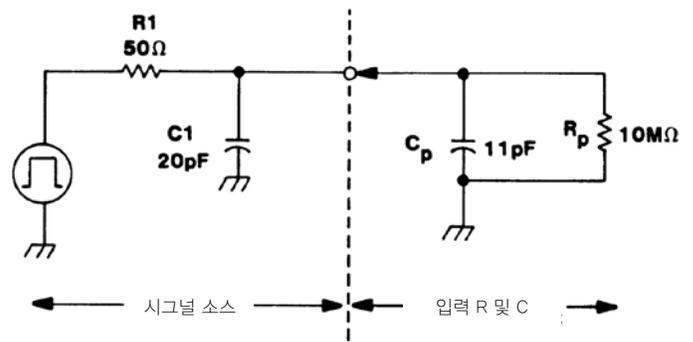
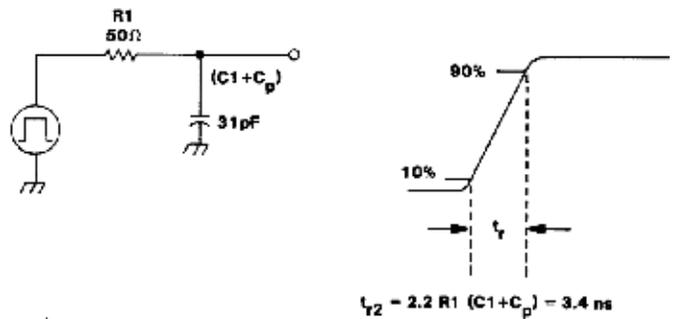


그림 4.3. 펄스 발생기의 상승 시간은 RC 부하에 따라 결정됩니다.



a.



b.

그림 4.4. 프로브의 추가된 캐패시턴스로 인해 RC 값과 측정되는 상승 시간이 증가합니다.

저항 10MΩ이 발생기의 저항 50Ω보다 훨씬 더 크므로 프로브의 저항은 무시할 수 있습니다. 하지만 프로브의 캐패시턴스는 부하 캐패시턴스와 병렬을 이루며, 총 부하 캐패시턴스 31pF에 바로 추가됩니다. 이에 따라 $2.2RC$ 의 값이 증가되며 측정되는 상승 시간도 프로빙 이전의 2.2ns에서 3.4ns로 증가합니다.

프로브의 지정된 캐패시턴스와 알려진 또는 예측된 소스 캐패시턴스의 비율을 사용하면 프로브 팁 캐패시턴스가 상승 시간에 미치는 영향을 예측할 수 있습니다. 그림 4.4의 값을 사용하면 다음과 같은 상승 시간의 백분율 변화가 예측됩니다.

$$C_{\text{probe tip}}/C1 \times 100\% = 11 \text{ pF}/20 \text{ pF} \times 100\% = 55\%$$

특히 프로브 캐패시턴스와 관련한 프로브 선택이 상승 시간 측정에 영향을 줄 수 있음을 분명하게 확인할 수 있습니다. 패시브 프로브의 경우 일반적으로 감쇠비가 클수록 팁 캐패시턴스가 낮아집니다. 이는 다양한 패시브 프로브의 일부 프로브 캐패시턴스 예가 열거된 표 4.1에서 확인할 수 있습니다.

프로브	감쇠	팁 캐패시턴스
P6101B	1X	100 pF
P6109B	10X	13 pF
P5100	100X	2.75 pF

표 4.1. 프로브 팁 캐패시턴스

더 작은 팁 캐패시턴스가 필요할 경우 액티브 FET 입력 프로브를 사용해야 합니다. 특정 액티브 프로브 모델에 따라 1pF 이하의 팁 캐패시턴스도 사용할 수 있습니다.

진폭 및 위상에 대한 영향

용량성 부하는 상승 시간에 대한 영향뿐 아니라 파형 내 고주파 성분의 진폭과 위상에도 영향을 줍니다. 이와 관련하여 모든 파형은 사인 성분으로 구성되어 있다는 점을 기억하는 것이 중요합니다. 50MHz 사각파는 100MHz 이후에서 유의한 고조파 성분을 가집니다. 따라서 파형의 기본 주파수뿐 아니라 기본 주파수의 수 배에 이르는 주파수에서 일어나는 부하 작용 효과도 고려하는 것이 중요합니다.

부하는 프로브 팁의 총 임피던스에 따라 결정됩니다. 이는 Z_p 로 정의되며, Z_p 는 저항 성분 R_p 와 무효 성분 X_p 로 구성됩니다. 무효 성분의 대부분은 용량성이지만, 용량성 부하를 부분적으로 상쇄할 목적으로 프로브에 유도성 소자를 설계해 넣을 수 있습니다.

기본적으로 주파수가 증가하면 Z_p 는 감소합니다. 대부분의 프로브 사용 설명서에는 프로브 R_p 가 Z_p 대 주파수를 표시하는 곡선으로 설명되어 있습니다. 그림 4.5는 일반적인 액티브 프로브의 해당 곡선을 나타낸 예입니다. 1MΩ의 임피던스 크기가 100kHz 근처까지 일정하다는 점에 주목하십시오. 이는 프로브의 관련 저항, 용량성, 유도성 소

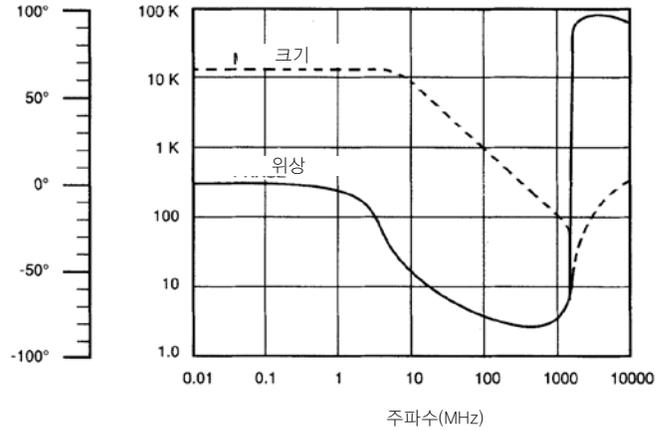


그림 4.5. 액티브 프로브의 일반적인 입력 임피던스 대 주파수 곡선

자를 세심하게 설계한 결과입니다.

그림 4.6에 프로브 곡선의 또 다른 예가 나와 있습니다. 이 예에서는 일반적인 10MΩ 패시브 프로브의 R_p 및 X_p 대 주파수를 보여줍니다. 점선(X_p)은 용량성 리액턴스 대 주파수 곡선입니다. X_p 는 DC에서 감소되기 시작하지만, R_p 는 100kHz까지 현저한 롤오프가 시작되지 않는다는 점에 유의하십시오. 여기서도 역시 관련 R, C 및 L 소자의 세심한 설계를 통해 총 부하가 상쇄되었습니다.

프로브의 임피던스 곡선을 구할 수 없다면 다음 공식을 사용하여 최악의 사례를 가정한 부하 예상치를 산출할 수 있습니다.

$$X_p = 1/2\pi fC$$

여기서,

$$X_p = \text{용량성 리액턴스}$$

$$f = \text{주파수}$$

$$C = \text{프로브 팁 캐패시턴스}$$

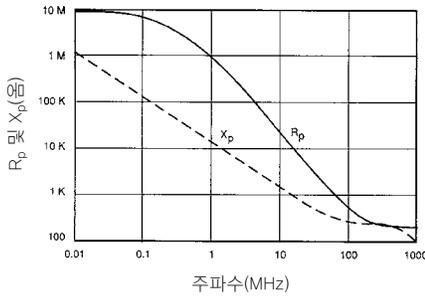


그림 4.6. 일반적인 10MΩ 패시브 프로브의 X_p 및 R_p 대 주파수 곡선

예를 들어, 팁 캐패시턴스가 11pF인 표준 패시브 10MΩ 프로브는 50MHz에서 약 290Ω의 용량성 리액턴스(X_p)를 가집니다. 시그널 소스 임피던스에 따라 이러한 부하는 신호 진폭에 중대한 영향(간단한 디바이더 작용에 의해)이 될 수 있으며, 프로빙 대상 회로의 작동에도 영향을 줄 수 있습니다.

대역폭 관련 고려 사항

대역폭은 프로브와 오실로스코프 모두의 대역폭이 관련되는 측정 시스템 문제입니다. 오실로스코프의 대역폭은 측정하고자 하는 신호의 지배적인 주파수를 초과하지 않아야 하며, 사용하는 프로브의 대역폭은 오실로스코프의 대역폭과 동일하거나 그 이상이어야 합니다.

측정 시스템의 측면에서 볼 때 진짜 문제는 프로브 팁의 대역폭입니다. 때로 제조사는 특정 오실로스코프/프로브 조합에 대해 프로브 팁의 대역폭을 명시합니다. 하지만 항상 그런 것은 아닙니다. 결과적으로, 사용자가 오실로스코프 및 프로브의 주요 대역폭 문제를 각각 그리고 조합으로서 인지해야 합니다.

오실로스코프 대역폭

대역폭은 측정 시스템이 레퍼런스 레벨보다 3dB 낮은 상태에서 진폭 대 주파수 곡선상의 지점으로 정의됩니다. 그 예가 그림 4.7로, 3dB 지점이 표시된 응답 곡선을 보여줍니다.

측정 시스템이 정격 대역폭에서 진폭이 3dB 낮아졌다는 점에 유의하는 것이 중요합니다. 이는 대역폭 한계에서 주파수에 대한 진폭 측정을 할 경우 30%의 오류를 예상할 수 있음을 의미합니다.

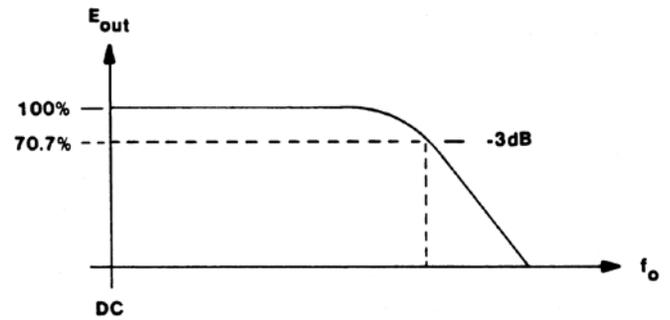


그림 4.7. 대역폭은 진폭이 -3dB로 감소된 응답 곡선에서 주파수로 정의됩니다.

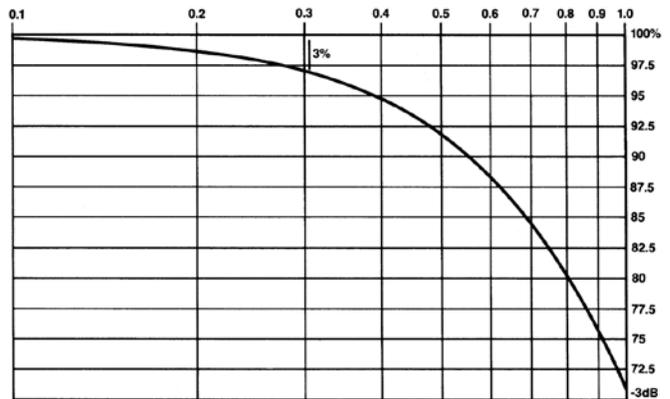


그림 4.8. 대역폭 경감 곡선

일반적으로 오실로스코프는 최대 대역폭 한계에서 사용되지 않습니다. 하지만 진폭 정밀도가 가장 중요하므로 오실로스코프의 대역폭을 적절하게 경감할 준비가 되어 있어야 합니다.

예를 들어 그림 4.8에 나온 대역폭 롤오프 곡선의 확대 모습을 보십시오. 이 그림의 수평 좌표는 30%를 넘는 진폭 정밀도를 확보하는 데 필요한 경감 계수를 보여줍니다. 경감이 없을 경우(계수 1.0), 100MHz 오실로스코프는 100MHz에서 최대 30%의 진폭 오류를 가집니다. 진폭 측정이 3% 이내가 되도록 하려면 해당 오실로스코프의 대역폭에 계수 0.3을 적용하여 30MHz로 경감시켜야 합니다. 30MHz 이상에서는 진폭 오류가 3%를 초과하게 됩니다.

위 예는 오실로스코프 선택의 일반적인 경험론을 지적한 것입니다. 3% 이내의 진폭 측정이 필요할 경우 지정 대역폭이 측정하려는 파형의 최대 주파수보다 3 ~ 5배 높은 오실로스코프를 선택하십시오.

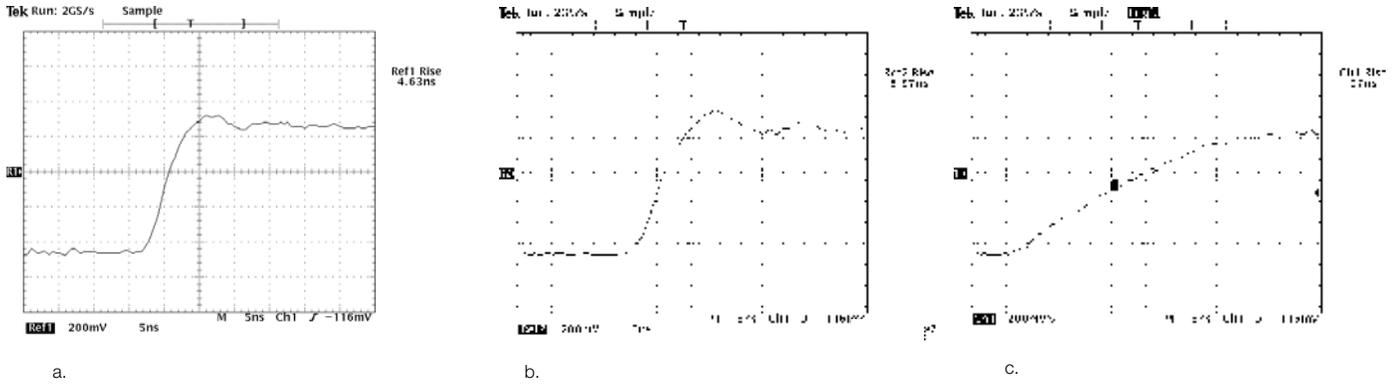


그림 4.9. 세 가지 다른 프로브, (a) 400MHz, 10X 프로브, (b) 100MHz, 10X 프로브, (c) 10MHz, 1X 프로브의 상승 시간에 대한 영향. 모든 측정은 동일한 400MHz 오실로스코프로 수행되었습니다.

상승 시간 또는 하강 시간이 주요 관심 측정 분야일 경우, 다음 공식을 사용하여 오실로스코프의 대역폭(BW) 사양을 상승 시간 사양으로 변환할 수 있습니다.

$$Tr \approx 0.35/BW$$

또는 더 간편하게,

$$Tr(\text{나노초}) \approx 350/BW(\text{MHz})$$

대역폭과 마찬가지로 측정이 예상되는 최대 상승 시간보다 3 ~ 5배 빠른 상승 시간을 가진 오실로스코프를 선택해야 합니다. (위 대역폭 대 상승 시간 변환 공식은 오실로스코프의 응답을 가우시안(Gaussian) 롤오프로 가정된 것임에 유의해야 합니다. 대부분의 오실로스코프는 가우시안 롤오프가 되도록 설계됩니다.)

프로브 대역폭

모든 프로브는 다른 전자 회로와 마찬가지로 대역폭 한계를 가지고 있습니다. 또한 오실로스코프와 마찬가지로 프로브도 일반적으로 대역폭에 따라 등급이나 사양이 정해집니다. 따라서 대역폭이 100MHz인 프로브는 100MHz 지점에서 3dB 경감된 진폭 응답을 가집니다.

마찬가지로, 프로브 대역폭도 오실로스코프에 사용된 것과 동일한 공식($Tr \approx 0.35/BW$)을 통해 상승 시간으로 변환하여 표현할 수 있습니다. 또한 액티브 프로브의 경우, 다음 공식을 사용하여 오실로스코프와 프로브의 상승 시간을 조합하면 대략적인 프로브/오실로스코프 시스템 상승 시간을 얻을 수 있습니다.

$$Tr_{\text{system}}^2 \approx Tr_{\text{probe}}^2 + Tr_{\text{scope}}^2$$

패시브 프로브는 관계가 더 복잡하여 위 공식을 사용할 수 없습니다.

기본적으로 프로브 대역폭은 항상 함께 사용할 오실로스코프의 대역폭과 동일하거나 그 이상이어야 합니다. 대역폭이 더 낮은 프로브를 사용할 경우 오실로스코프의 최대 측정 기능을 활용할 수 없습니다. 이는 그림 4.9에 자세히 나와 있으며, 서로 다른 대역폭의 세 가지 프로브로 동일한 펄스 트랜지션을 측정된 결과입니다.

그림 4.9a에 나온 첫 번째 측정에서는 매칭된 400MHz 오실로스코프와 프로브 조합이 사용되었습니다. 사용된 프로브는 저항 10MΩ, 캐패시턴스 14.1pF인 10X 프로브입니다. 펄스 상승 시간이 4.63ns로 측정되었다는 점에 주목하십시오. 이는 400MHz 오실로스코프/프로브 조합이 가지는 875ps의 상승 시간 범위에 넉넉히 포함되는 수치입니다.

이제 동일한 오실로스코프로 10X, 100MHz 프로브를 사용하여 동일한 펄스를 측정하면 어떤 결과가 나오는지 살펴보겠습니다. 그 결과가 그림 4.9b로, 측정된 상승 시간은 5.97ns입니다. 이는 앞서 측정한 4.63ns보다 거의 30%가 증가한 수치입니다!

예상했던 것처럼 관찰된 펄스의 상승 시간은 더 낮은 대역폭의 프로브에서 훨씬 길어졌습니다. 극단적인 예가 동일한 펄스에 1X, 10MHz 프로브를 사용한 그림 4.9c입니다. 여기서 상승 시간은 원래의 4.63ns에서 27ns로 느려졌습니다.

그림 4.9의 핵심 요점은,

아무 프로브나 사용할 수는 없다는 것입니다!

오실로스코프가 가진 최대한의 성능 즉, 사용자가 대가를 지불한 수준의 성능을 활용하기 위해서는 반드시 제조사의 권장 프로브를 사용하십시오.

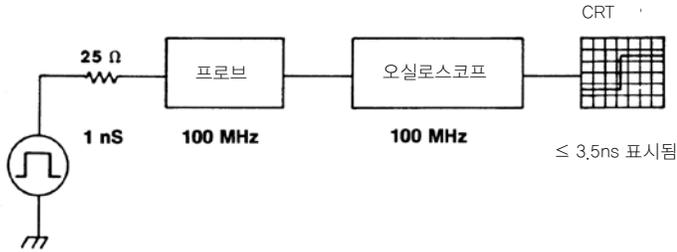


그림 4.10. 프로브 팁의 대역폭을 테스트하는 등가 회로. 100MHz 시스템의 경우 표시되는 상승 시간이 3.5ns이거나 그보다 빨라야 합니다.

프로브 팁의 대역폭

일반적으로 프로브 대역폭 및 결과적인 프로브/오실로스코프 시스템 대역폭의 문제는 다음과 같은 제조사의 사양 및 권장안을 통해 해결할 수 있습니다. 예를 들어 텍트로닉스의 경우 지정된 한계 내에서 프로브가 성능을 발휘할 수 있는 대역폭을 지정합니다. 이러한 한계에는 총 오차, 상승 시간, 스위프 대역폭이 포함됩니다.

또한 텍트로닉스 프로브는 호환 오실로스코프와 함께 사용할 경우 오실로스코프의 대역폭을 프로브 팁까지 연장시킵니다. 예를 들어, 텍트로닉스 100MHz 프로브는 호환되는 100MHz 오실로스코프와 함께 사용할 경우 프로브 팁에서 100MHz의 성능(-3dB)을 제공합니다.

업계에서 인정하는 프로브 팁의 대역폭 검증 테스트 설정이 그림 4.10에서 등가 회로로 설명되어 있습니다. 테스트 시그널 소스는 50Ω으로 종단 처리된 50Ω 소스로 지정되어 있으며, 이는 등가 25Ω 소스 종단이 됩니다. 또한 프로브는 프로브 팁 대 BNC 어댑터 또는 동등한 제품을 사용하여 소스에 연결되어야 합니다. 프로브 연결에 대한 이 마지막 조건은 가능한 가장 짧은 접지 경로를 보장하는 것입니다.

위에 설명된 테스트 설정을 사용할 때 100MHz 오실로스코프/프로브 조합의 관찰된 상승 시간은 3.5ns 미만이어야 합니다. 이 3.5ns의 상승 시간은 앞서 설명한 대역폭/상승 시간 관계($Tr \approx 0.35/BW$)에 따르면 100MHz의 대역폭에 해당합니다.

표준 액세스리 프로브가 포함된 범용 오실로스코프 제조사들은 대부분 프로브 팁에서 알려진 오실로스코프 대역폭을 제공합니다.

하지만 프로브 팁에서 제공되는 대역폭이 그림 4.10의 테스트 방법에 따라 결정된다는 점을 기억해야 합니다. 실제 신호가 25Ω 소스에서 발생하는 일은 거의 없으므로, 실제 사용 중에 특히, 고임피던스 회로를 측정할 경우 최적에 다소 못 미치는 응답과 대역폭을 예상해야 합니다.

접지 리드의 영향

접지 기준 측정을 수행할 때는 테스트 대상 회로 또는 장치에 두 가지의 연결이 필요합니다. 한 가지 연결은 측정하는 전압 또는 기타 파라미터를 감지하는 프로브를 통해 이루어집니다. 다른 필수 연결은 오실로스코프를 통과하여 다시 테스트 대상 회로로 이어지는 접지 귀환입니다. 이 접지 귀환은 측정 전류 경로를 완성하는 데 필수적입니다.

테스트 대상 회로와 오실로스코프가 동일한 전원 콘센트 회로에 연결된 경우, 전원 회로의 공통축이 접지 귀환 경로를 제공합니다. 전원 접지를 통한 이 신호 귀환 경로는 일반적으로 간접적이고 길어집니다. 결과적으로 깨끗하고 인덕턴스 낮은 접지 귀환 경로로 활용할 수 없습니다.

기본적으로 어떤 종류의 오실로스코프 측정 작업에서든 가능한 가장 짧은 접지 경로를 사용해야 합니다. 궁극적인 접지 시스템은 그림 4.11에 나온 회로 내 ECB(etched circuit board) 대 프로브 팁 어댑터입니다. ECB 어댑터를 사용하면 프로브 팁을 직접 회로 테스트 지점에 끼울 수 있으며, 어댑터의 외부 배럴은 프로브 팁에서 접지 링에 짧고 직접적인 접지 접점을 만들어 줍니다.

중요한 진폭 및 타이밍 측정에는 회로 보드 설계에 알려진 테스트 지점에 대한 ECB/프로브 팁 어댑터를 포함시키는 것이 권장됩니다. 이를 통해 테스트 지점의 위치를 명확히 나타낼 수 있으며, 가장 신뢰도 높은 오실로스코프 측정이 되도록 테스트 지점에 가능한 최선의 연결을 보장합니다.

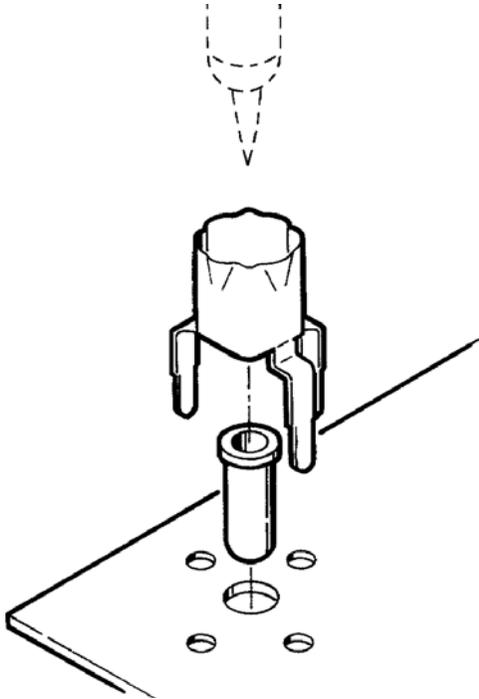


그림 4.11. ECB 대 프로브 팁 어댑터

불행히도, 다수의 일반적인 측정 상황에서 ECB/프로브 팁 어댑터는 실용적이지 못합니다. 일반적인 접근 방식은 어댑터를 사용하는 대신 테스트 대상 회로 내의 접지 지점에 연결되는 짧은 접지 리드를 사용하는 것입니다. 이 방법은 프로브를 테스트 대상 회로 내의 여러 지점으로 빠르게 이동할 수 있다는 면에서 훨씬 간편합니다. 또한 대부분의 프로브 제조사가 프로브와 함께 제공하는 짧은 접지 리드는 대부분의 측정 상황에서 적절한 접지 귀환 경로를 제공합니다.

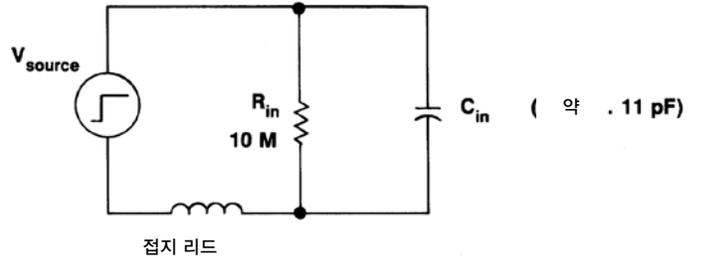
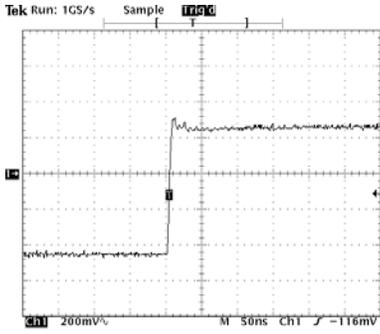


그림 4.12. 시그널 소스에 연결된 일반적인 패시브 프로브의 등가 회로

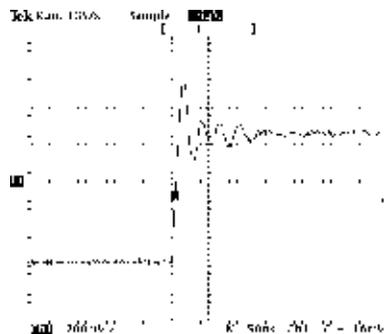
하지만 부적절한 접지로 인해 발생할 수 있는 문제를 알아두는 것이 좋습니다. 그 준비 단계로 그림 4.12에 나온 등가 회로의 접지 리드와 관련된 인덕턴스(L)가 존재함을 주목하십시오. 이 접지 리드 인덕턴스는 리드 길이가 늘어날수록 증가합니다.

또한 접지 리드 L 및 C_{in} 이 직렬 공진 회로를 형성하며 감쇠 요소는 R_{in} 이 유일하다는 점에도 주목하십시오. 이 직렬 공진 회로가 펄스와 접촉하면 링잉이 발생합니다. 링잉 외에도 과도한 접지 리드 L은 충전 회로를 C_{in} 에 국한시키고, 따라서 펄스의 상승 시간을 제한합니다.

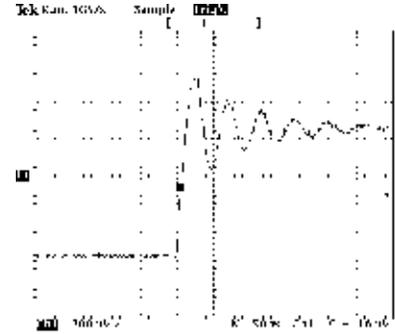
수학적인 계산 없이도, 11pF 패시브 프로브에 6인치 접지 리드를 사용할 경우 고속 펄스에 의해 여자되면 약 140MHz에서 링잉이 발생됨을 알 수 있습니다. 100MHz 오실로스코프를 사용하는 경우 이 링잉은 오실로스코프의 대역폭보다 훨씬 높으므로 전혀 확인되지 않을 수 있습니다. 하지만 200MHz와 같이 더 빠른 오실로스코프라면 접지 리드에 의한 링잉이 오실로스코프의 대역폭에 충분히 포함되며 펄스 디스플레이에서 확실히 식별될 것입니다.



a. 6.5인치 프로브 접지 클립



b. 28인치 프로브 접지 팁



c. 28인치 클립 대 오실로스코프 새시

그림 4.13. 접지 리드의 길이와 위치가 측정에 막대한 영향을 줄 수 있습니다.

펄스 디스플레이에서 링잉이 발견되면 접지 리드의 길이를 줄여 보십시오. 접지 리드가 짧을수록 인덕턴스가 낮으며 더 높은 주파수 링잉을 일으킵니다. 펄스 디스플레이에서 링잉 주파수가 변경된다면 문제가 접지 리드와 관련된 것임을 알 수 있습니다. 접지 리드를 더 줄이면 링잉 주파수를 오실로스코프의 대역폭 밖으로 이동시켜 측정에 미치는 영향을 최소화할 수 있습니다. 접지 리드 길이를 변경해도 링잉이 변경되지 않는다면 링잉이 테스트 대상 회로 내에서 발생하는 것일 가능성이 높습니다.

그림 4.13에 접지 리드로 인해 발생하는 링잉이 자세히 나와 있습니다. 그림 4.13a에서는 고속 트랜지션을 획득하는 데 매칭된 오실로스코프/프로브 조합이 사용되었습니다. 사용된 접지 리드는 표준 6.5인치 프로브 접지 클립이며, 테스트 지점 근처의 공통 접지에 연결되었습니다.

그림 4.13b도 동일한 펄스 트랜지션을 획득하는 상황입니다. 하지만 이번에는 프로브의 표준 접지 리드가 28인치 클립 리드로 연장되었습니다. 이러한 접지 리드의 연장은 예를 들어 대형 시스템에서 여러 지점을 프로빙할 때마다 접지 클립을 이동하지 않기 위해 이루어졌을 수 있습니다. 하지만 불행히도 그러한 방법을 사용하면 접지 루프가 길어지며 표시된 것처럼 심각한 링잉을 일으킬 수 있습니다.

그림 4.13c는 접지 루프의 또 다른 연장 사례에 따른 결과를 보여줍니다. 이 경우에는 프로브의 접지 리드가 전혀 연결되지 않았습니다. 대신 별도의 28인치 클립 리드가 회로의 공통 접지에서 오실로스코프 새시로 연결되었습니다. 이로 인해 또 다른 외관상 더 길어 보이는 접지 루프가 생성되어 표시된 것과 같은 저주파 링잉이 발생되었습니다.

그림 4.13의 예로 보아, 접지 기법이 측정 품질에 지대한 영향을 주는 것이 분명합니다. 특히 프로브 접지 리드는 가능한 짧고 일직선이 유지되도록 해야 합니다.

프로빙의 영향에 대한 조치 방법

앞선 사례와 논의에서는 시그널 소스 임피던스, 프로브 및 오실로스코프가 상호 연동 시스템을 형성함을 확인했습니다. 최적의 측정 결과를 얻으려면 시그널 소스에 대한 오실로스코프/프로브의 영향을 최소화하는 데 가능한 모든 조치를 취해야 합니다.

다음과 같은 일반적인 법칙이 적용됩니다.

- 항상 오실로스코프 제조사의 권장안에 따라 오실로스코프와 프로브를 매칭하십시오.
- 오실로스코프/프로브가 측정하려는 신호에 적합한 대역폭 또는 상승 시간 기능을 가지고 있는지 확인하십시오. 일반적으로, 측정하려는 최대 상승 시간보다 3 ~ 5배 빠른 상승 시간 사양을 가진 오실로스코프/프로브 조합을 선택해야 합니다.
- 항상 프로브 접지 리드는 가능한 짧고 일직선이 되도록 유지하십시오. 과도한 접지 루프는 펄스에 링잉을 발생시킬 수 있습니다.
- 측정 기능과 테스트 지점에 대한 기계적 결합 측면에서 애플리케이션 요구에 가장 잘 일치하는 프로브를 선택하십시오.

마지막으로, 항상 프로빙 대상 회로에 발생 가능한 프로브 부하 작용 효과에 대해 주의하십시오. 많은 경우 프로브 선택을 통해 부하 작용을 억제 또는 최소화할 수 있습니다.

다음은 주의해야 할 일부 프로브 부하 작용 관련 고려 사항을 요약한 내용입니다.

패시브 프로브

1X 패시브 프로브는 일반적으로 10X 패시브 프로브보다 낮은 저항과 높은 캐패시턴스를 가집니다. 그 결과, 1X 프로브는 부하 작용을 일으키기가 더 쉬우며, 범용 프로빙에는 가능한 언제나 10X 프로브를 사용해야 합니다.

전압 디바이더(Z_0) 프로브

이 프로브는 아주 낮은 팁 캐패시턴스를 가지고 있는 대신 저항성 부하가 상대적으로 높습니다. 이 제품은 50Ω 환경에서 임피던스 매칭이 필요한 경우에 사용하도록 개발되었습니다. 하지만 전압 디바이더 프로브는 매우 높은 대역폭/상승 시간 특성으로 인해 흔히 다른 환경에서 고속 타이밍 측정에도 사용됩니다. 진폭 측정에 사용하는 경우 프로브의 낮은 입력 R에 따른 영향을 고려해야 합니다.

바이어스 오프셋 프로브

바이어스 오프셋 프로브는 프로브 팁에서 다양한 오프셋 전압을 제공할 수 있는 기능을 가진 특수한 유형의 전압 디바이더 프로브입니다. 이 프로브는 저항성 부하가 회로의 작동 지점을 혼란시킬 수 있는 고속 ECL 회로의 프로빙에 유용합니다.

액티브 프로브

액티브 프로브는 매우 낮은 저항성 부하와 매우 낮은 팁 캐패시턴스이라는 두 가지 장점을 모두 제공할 수 있습니다. 반면 일반적으로 다이나믹 레인지가 낮다는 단점도 있습니다. 하지만 측정 작업이 액티브 프로브의 범위에 속한다면 많은 경우 액티브 프로브가 최상의 선택이 될 수 있습니다.

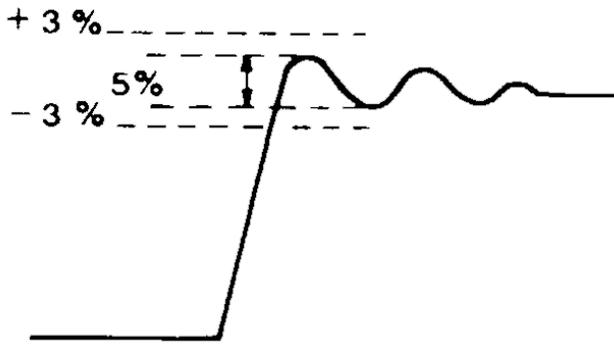


그림 5.1. 100%의 펄스 높이에 비례한 오차 측정의 예

프로브 사양의 이해

핵심적인 프로브 사양 대부분을 이전 장에서 프로브 유형과 관련하여 또는 측정에 대한 프로브의 영향이라는 측면에서 다루었습니다.

이 장에서는 핵심적인 프로브 사양 파라미터와 용어를 모두 쉽게 참조할 수 있도록 한 곳에 모았습니다.

다음은 알파벳 순서로 열거된 사양의 목록이며, 각각의 사양 중에서 프로브에 따라 적용되지 않는 것도 있을 수 있습니다. 예를 들어, 삽입 임피던스는 전류 프로브에만 적용되는 사양입니다. 대역폭과 같은 사양은 공통적으로 모든 프로브에 적용됩니다.

Aberrations(오차) (공통)

오차란 입력 신호에 대해 예상되거나 이상적인 응답에서 벗어난 진폭의 편차를 의미합니다. 실제 오차는 일반적으로 고속 파형 트랜지션 직후에 발생하며, 경우에 따라 “링잉”이라 지칭되는 형태로 나타납니다.

오차는 최종 펄스 응답 레벨에서 ± 백분율의 편차로 측정 또는 지정됩니다(그림 5.1 참조). 이 사양에는 오차의 시간 범위도 포함될 수 있습니다. 그 예는 다음과 같습니다.

최초 30나노초 이내에 오차가 피크 대 피크 기준 ±3% 또는 5%를 초과하지 않아야 합니다.

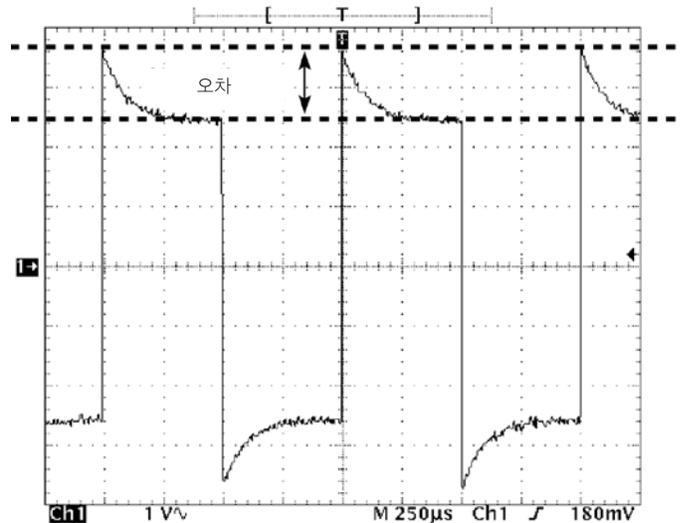


그림 5.2. 프로브의 과도한 보상으로 인한 오차

펄스 측정에서 과도한 오차가 발견되는 경우, 오차가 프로브의 결함으로 인한 것이라고 단정하기 전에 가능한 모든 원인을 고려해야 합니다. 예를 들어, 오차가 실제로 시그널 소스의 일부인지, 아니면 프로브 접지 기법을 적용한 결과인지 살펴봐야 합니다.

관찰되는 오차의 가장 흔한 원인 중 하나는 전압 프로브의 보상 상태를 점검하고 적절히 조정하는 일을 소홀히 하는 것입니다. 심하게 과보상된 프로브는 펄스 에지 이후에 바로 상당한 피크를 발생시킵니다(그림 5.2 참조).

Accuracy(정밀도) (공통)

전압 감지 프로브의 경우, 일반적으로 정밀도란 프로브의 DC 신호 감쇠 정도를 지칭합니다. 프로브 정밀도의 계산 및 측정에는 일반적으로 오실로스코프의 입력 저항이 포함되어야 합니다. 따라서 프로브를 가정된 입력 저항을 가진 오실로스코프와 함께 사용할 때에만 프로브의 정밀도 사양이 정확하거나 적절합니다. 정밀도 사양의 예는 다음과 같습니다.

10X 3% 이내(오실로스코프 입력 1MΩ ±2% 기준)

전류 감지 프로브의 경우 정밀도 사양이 전류 대 전압 변환의 정밀도에 해당합니다. 이는 전류 변압기의 권선비와 종단 저항의 값 및 정밀도에 따라 결정됩니다. 전용 증폭기와 함께 작동하는 전류 프로브에는 암페어/구역으로 직접 캘리브레이션되는 출력이 있으며, 어테뉴에이터 정밀도와 관련하여 전류/구역 설정의 백분율로 지정되는 정밀도 사양이 적용됩니다.

Amp-Second Product(암페어-초 곱) (전류 프로브)

전류 프로브의 경우 전류 변압기 코어의 에너지 처리 용량이 암페어-초 곱으로 정의됩니다. 평균 전류와 펄스 폭의 곱이 암페어-초 정격을 초과하면 코어가 포화됩니다. 이러한 코어 포화는 포화 도중 발생된 파형의 해당 부분이 클리핑(clipping off) 또는 억제되는 결과로 이어집니다. 암페어-초 곱이 초과되지 않을 경우, 프로브의 신호 전압 출력은 선형이 되며 정확한 측정이 가능합니다.

Attenuation Factor(감쇠 계수) (공통)

모든 프로브에는 감쇠 계수가 있으며, 일부 프로브의 경우 감쇠 계수를 선택할 수도 있습니다. 일반적인 감쇠 계수는 1X, 10X, 100X입니다.

감쇠 계수란 프로브에서 신호 진폭을 감소시키는 양을 의미합니다. 1X 프로브는 신호를 감소 또는 감쇠시키지 않으며, 10X 프로브는 신호를 프로브 팁 진폭의 1/10로 감소시킵니다. 프로브 감쇠 계수를 사용하면 오실로스코프의 측정 범위를 확대할 수 있습니다. 예를 들어, 100X 프로브의 경우 진폭이 100배 큰 신호를 측정할 수 있습니다.

1X, 10X, 100X라는 명칭은 오실로스코프가 자동으로 프로브 감쇠를 감지하고 스케일 계수를 적절히 조정하지 못했던 시절에서 연유된 것입니다. 예를 들어 10X라는 명칭은 모든 진폭 측정 결과에 10을 곱해야 한다는 뜻입니다. 오늘날의 오실로스코프 리드아웃 시스템은 프로브 감쇠 계수를 자동으로 감지하고 스케일 계수 리드아웃을 적절히 조정합니다. 전압 프로브의 감쇠 계수는 저항성 전압 디바이더 기법을 사용하여 달성됩니다. 따라서 일반적으로 프로브의 감쇠 계수가 높을수록 입력 저항이 높아집니다. 또한 디바이더 효과는 프로브의 캐패시턴스를 분할하여 더 높은 감쇠 계수에 대해 더 낮은 프로브 팁 캐패시턴스를 효율적으로 제시합니다.

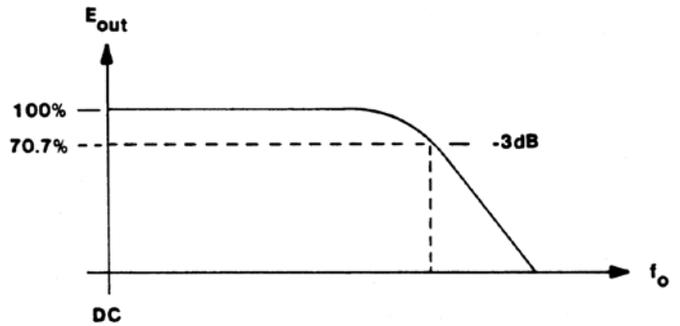


그림 5.3. 대역폭이란 사인파 진폭이 70.7%(-3dB) 감소되는 지점의 응답 곡선 내 주파수를 의미합니다.

Bandwidth(대역폭) (공통)

모든 프로브에는 대역폭이 있습니다. 10MHz 프로브는 10MHz의 대역폭을 가지며, 100MHz 프로브는 100MHz의 대역폭을 가집니다. 프로브의 대역폭이란 그림 5.3에 나온 것처럼 프로브의 응답이 출력 진폭을 70.7%(-3dB) 떨어지도록 만드는 지점의 주파수를 의미합니다.

또한 일부 프로브의 경우 저주파 대역폭에도 한계가 있음을 유의해야 합니다. 예를 들어 AC 전류 프로브가 그 경우에 해당합니다. AC 전류 프로브는 설계상 DC 또는 저주파 신호를 통과시키지 못합니다. 따라서 대역폭을 저주파 하나와 고주파 하나의 값 2개로 지정해야 합니다.

오실로스코프 측정에서 진정 중요한 것은 오실로스코프와 프로브를 합친 전체 대역폭입니다. 이 시스템 성능이 궁극적으로 측정 기능을 결정하는 요소입니다. 불행히도 프로브를 오실로스코프에 연결하면 어느 정도 대역폭 저하가 일어납니다. 예를 들어, 100MHz 오실로스코프에 100MHz 범용 프로브를 사용할 경우 측정 시스템의 대역폭 성능은 100MHz보다 다소 낮아집니다. 전체 시스템 대역폭 성능에서 불확실성을 없애고자 텍트로닉스는 패시브 전압 프로브에 지정된 오실로스코프 모델과 함께 사용할 때 프로브 팁에서 제공되는 측정 시스템 대역폭을 지정하여 제공하고 있습니다.

오실로스코프 및 오실로스코프 프로브를 선택할 때, 대역폭이 측정 정밀도와 증대한 관계가 있음을 인지해야 합니다.

진폭 측정의 경우, 사인파 주파수가 대역폭 한계에 접근하면 해당 사인파의 진폭이 점점 더 감소됩니다. 대역폭 한계에 이르면 사인파의 진폭이 실제 진폭의 70.7%인 것으로 측정됩니다. 따라서 더 높은 진폭 측정 정밀도를 확보하려면 측정하려는 최고 주파수 파형보다 대역폭이 몇 배 큰 오실로스코프와 프로브를 선택해야 합니다.

동일한 사인이 파형의 상승 및 하강 시간을 측정할 때도 적용됩니다. 펄스 및 사각파 에지와 같은 파형 트랜지션은 고주파 성분으로 구성됩니다. 대역폭을 통해 이러한 고주파 성분을 감소시키면 트랜지션이 실제보다 느리게 나타납니다. 상승 및 하강 시간을 정밀하게 측정하려면 파형의 상승 및 하강 시간을 구성하는 고주파 성분을 보존하기에 충분한 대역폭을 가진 측정 시스템을 사용해야 합니다. 이는 대개 측정 시스템 상승 시간 단위로 명시되며, 일반적으로 측정하려는 상승 시간보다 4 ~ 5배 빨라야 합니다.

Capacitance(캐패시턴스) (공통)

일반적으로 프로브의 캐패시턴스 사양이라면 프로브 팁에서 측정되는 캐패시턴스를 가리킵니다. 이는 프로브가 회로의 테스트 지점 또는 테스트 대상 장치에 추가하는 캐패시턴스입니다.

프로브 팁 캐패시턴스는 펄스의 측정 방식에 영향을 주므로 중요합니다. 팁 캐패시턴스가 낮으면 상승 시간 측정에서 오류가 최소화됩니다. 또한 펄스의 지속 시간이 프로브 RC 시간 상수의 5배보다 적을 경우 펄스의 진폭이 영향을 받습니다.

프로브는 또한 오실로스코프의 입력측에도 캐패시턴스를 가하며, 이 프로브 캐패시턴스가 오실로스코프의 캐패시턴스와 일치해야 합니다. 10X 및 100X 프로브의 경우 이 캐패시턴스를 보상 범위라고 칭하며, 이는 팁 캐패시턴스와 다릅니다. 프로브 매칭을 할 때 오실로스코프의 입력 캐패시턴스가 프로브의 보상 범위 내에 있어야 합니다.

CMRR(차동 프로브)

CMRR(Common-Mode Rejection Ratio: 커먼 모드 제거비)은 차동 측정에서 차동 프로브가 두 테스트 지점에 공통적인 신호를 제거할 수 있는 역량을 의미합니다. CMRR은 차동 프로브 및 증폭기의 주요

한 장점이며, 다음과 같이 정의됩니다.

$$CMRR = |A_d/A_c|$$

여기서,

A_d = 차동 신호에 대한 전압 게인

A_c = 커먼 모드 신호에 대한 전압 게인

이론상 A_d 는 커야 하며, A_c 는 0과 같아야 무한대의 CMRR이 실현됩니다. 실제로는 CMRR이 10,000:1이라면 상당히 양호한 것으로 간주됩니다. 이는 5V의 커먼 모드 입력 신호가 출력에서 0.5mV로 나타나는 지점까지 거부될 것임을 의미합니다. 이러한 제거 기능은 노이즈의 존재 하에 차동 신호를 측정하는 데 중요합니다.

주파수가 높아지면 CMRR이 낮아지므로, CMRR이 지정되는 주파수 또한 CMRR 값만큼 중요합니다. 높은 주파수에서 높은 CMRR 값을 가진 차동 프로브가 낮은 주파수에서 동일한 CMRR 값을 가진 차동 프로브보다 좋습니다.

Decay Time Constant(감쇠 시간 상수) (전류 프로브)

감쇠 시간 상수는 전류 프로브의 펄스 지원 기능을 나타내는 사양입니다. 이 시간 상수는 이차 인덕턴스(프로브 코일)를 종단 저항으로 나눈 값입니다. 감쇠 시간 상수는 때로 프로브 L/R 비율이라고도 불립니다.

L/R 비율이 클 경우 진폭의 현저한 감쇠 또는 약화 없이 더 긴 전류 펄스를 재현할 수 있습니다. L/R 비율이 작을 경우 지속 시간이 긴 펄스는 펄스가 실제로 완료되기 전에 0으로 감쇠되는 것으로 나타납니다.

Direct Current(직류) (전류 프로브)

DC(직류)는 전류 프로브 코일 코어의 투자율을 낮춥니다. 이와 같이 투자율이 낮아지면 코일 인덕턴스 및 L/R 시간 상수도 낮아집니다. 그 결과 낮은 주파수에서 커플링 성능이 저하되며, 저주파 전류에서 측정 반응이 상실됩니다. 일부 AC 전류 프로브는 DC의 영향을 무효화하는 전류 버킹 옵션을 제공합니다.

Frequency Derating(주파수 경감) (전류 프로브)

전류 프로브 사양에는 코어 포화를 증가하는 주파수와 관련시키는 진폭 대 주파수 경감 곡선이 포함되어야 합니다. 주파수 증가에 따른 코어 포화의 영향은 평균 전류가 0A인 파형이 진폭 피크에서 파형의 주파수 또는 진폭이 증가함에 따라 클리핑을 겪게 된다는 것입니다.

Insertion Impedance(삽입 임피던스) (전류 프로브)

삽입 임피던스는 전류 프로브의 코일(이차)에서 측정 대상 전류 운반 도체(일차)로 변환되는 임피던스입니다. 일반적으로 전류 프로브의 환산 임피던스 값은 밀리옴 범위이며, 임피던스가 25Ω 이상인 회로에 별다른 영향을 주지 않습니다.

Input Capacitance(입력 캐패시턴스) (공통)

프로브 팁에서 측정되는 프로브의 캐패시턴스입니다.

Input Resistance(입력 저항) (공통)

프로브의 입력 저항은 0Hz(DC)에서 프로브가 테스트 지점에 가하는 임피던스를 의미합니다.

Maximum Input Current Rating(최대 입력 전류 정격) (전류 프로브)

최대 입력 전류 정격은 프로브가 받아들이고 사양 대로 작동할 수 있는 총 전류량(DC + 피크 AC)을 의미합니다. AC 전류 측정의 경우, 최대 총 입력 전류를 계산하려면 피크 대 피크 값을 주파수에 대해 경감해야 합니다.

Maximum Peak Pulse Current Rating(최대 피크 펄스 전류 정격) (전류 프로브)

이 정격은 초과되지 않아야 합니다. 이 정격에는 코어 포화 및 손상을 일으킬 수 있는 이차 전압의 발전이 고려됩니다. 최대 피크 펄스 전류 정격은 일반적으로 암페어-초 곱으로 표시됩니다.

Maximum Voltage Rating(최대 전압 정격) (공통)

프로브의 최대 정격에 가까운 전압은 피해야 합니다. 최대 전압 정격은 측정 지점에서 프로브 본체 또는 프로브 컴포넌트의 항복 전압 정격으로 정의됩니다.

Propagation Delay(전파 지연) (공통)

모든 프로브에는 신호 주파수에 따라 달라지는 소량의 시간 지연 또는 위상 변화가 있습니다. 이는 프로브 컴포넌트의 기능이며, 신호가 프로브 팁에서 오실로스코프 커넥터까지 해당 컴포넌트를 통과하여 이동하는 데 걸리는 시간을 의미합니다.

일반적으로 가장 뚜렷한 변화는 프로브 케이블에 의해 발생합니다. 예를 들어, 42인치 특수 프로브 케이블은 5ns의 신호 지연이 있습니다. 1MHz 신호의 경우 5ns의 지연이 2도의 위상 변화를 일으킵니다. 케이블이 길어지면 그에 따라 신호 지연도 길어집니다.

전파 지연은 일반적으로 2개 이상의 파형 사이에서 비교 측정이 이루어질 경우에만 문제가 됩니다. 예를 들어 두 파형 사이의 시간 차이를 측정하는 경우, 각각의 신호가 프로브에서 동일한 전파 지연을 겪도록 매칭된 프로브를 사용하여 파형을 획득해야 합니다.

또 다른 예로 전압 프로브와 전류 프로브의 조합을 사용하여 전력 측정을 수행하는 경우를 들 수 있습니다. 전압 프로브와 전류 프로브는 구조가 현저히 다르므로 전파 지연에도 차이가 있습니다. 이러한 전파 지연이 전력 측정에 영향을 줄 것인지 여부는 측정하는 파형의 주파수에 따라 결정됩니다. Hz 및 kHz 신호의 경우 일반적으로 지연 차이가 미미합니다. 하지만 MHz 신호의 경우 지연 차이는 큰 영향을 줄 수 있습니다.

Rise Time(상승 시간) (공통)

스텝 함수에 대한 프로브의 10 ~ 90% 응답은 프로브가 팁에서 오실로스코프 입력으로 전송할 수 있는 가장 빠른 트랜지션을 나타냅니다. 펄스의 상승 및 하강 시간을 정확히 측정하려면, 측정 시스템의 상승 시간(오실로스코프와 프로브의 조합)이 측정할 가장 빠른 트랜지션보다 3 ~ 5배 더 빨라야 합니다.

Tangential Noise(탄젠트 노이즈) (액티브 프로브)

탄젠트 노이즈는 액티브 프로브에서 프로브로 인해 발생하는 노이즈를 정의하는 방법입니다. 탄젠트 노이즈 수치는 RMS 노이즈의 약 2배입니다.

Temperature Range(온도 범위) (공통)

전류 프로브는 최대 작동 온도를 가지며, 이는 코일의 자기 차폐 부분에 유도되는 에너지로 인한 발열 효과의 결과입니다. 온도가 높아지면 손실도 증가합니다. 이로 인해 전류 프로브에는 최대 진폭 대 주파수 경감 곡선이 존재합니다.

어테뉴에이터 전압 프로브(예: 10X, 100X 등)의 경우 온도 변화로 인한 정밀도 변화에 노출될 수 있습니다.

Threshold Voltage(임계 전압) (로직)

로직 프로브는 다른 오실로스코프 프로브와 다른 방법으로 신호를 측정 및 분석합니다. 로직 프로브는 아날로그 정보를 측정하지 않으며, 그 대신 로직 임계 레벨을 감지합니다. 로직 프로브를 사용하여 혼합 신호 오실로스코프를 디지털 회로에 연결하는 경우 신호의 로직 상태에 대해서만 유의하면 됩니다. 이 시점에서 관심을 가져야 할 로직 레벨은 단 2가지입니다. 입력이 임계 전압(V_{th})을 초과할 경우 레벨을 “높음” 또는 “1”이라고 칭하며, 반대로 V_{th} 아래의 레벨은 “낮음” 또는 “0”이 됩니다. 입력이 샘플링되면 혼합 신호 오실로스코프는 전압 임계값과 관련된 신호의 레벨에 따라 “1” 또는 “0”을 저장합니다.

로직 프로브는 한번에 다수의 신호를 캡처할 수 있는 점이 다른 오실로스코프와 차별되는 요소입니다. 이 디지털 획득 프로브는 테스트 대상 장치에 연결되며, 프로브의 내장 비교기가 바로 입력 전압을 임계 전압(V_{th})과 비교하고 신호의 로직 상태(1 또는 0)를 결정하는 부분입니다. 임계값은 TTL 레벨에서 CMOS, ECL, 사용자 정의 값 등으로 사용자가 설정합니다.

고급 프로빙 기법

이전 장에서는 오실로스코프 프로브와 그 사용법에 대해 사용자가 알아야 할 모든 기본 정보를 다루었습니다. 대부분의 측정 상황에서는 다음과 같은 기본적인 문제만 기억한다면 오실로스코프와 함께 제공되는 표준 프로브를 사용하여 충분히 정확한 결과를 얻을 수 있습니다.

- 대역폭/상승 시간 한계
- 시그널 소스에 대한 부하 작용 가능성
- 프로브 보상 조정
- 적절한 프로브 접지

하지만 결국에는 이러한 기본적인 고려 사항으로 해결되지 않는 프로빙 상황에 부딪히게 될 것입니다.

이 장에서는 접지 리드부터 시작하여 사용자가 가장 흔히 마주칠 수 있는 몇 가지 고급 프로빙 문제에 대해 탐구해 보겠습니다.

접지 리드 문제

측정에 사용할 정확한 접지 기준점을 결정하는 것이 어렵기 때문에 접지 리드 문제는 오실로스코프 측정에서 계속 나타나는 문제입니다. 그러한 어려움은 프로브에 장착되거나 회로 내에 포함된 경우에 상관 없이 접지 리드가 인덕턴스를 가지고 있으며 신호 주파수가 높아지면 스스로 회로를 형성한다는 사실 때문에 생깁니다. 그 영향 중 하나로, 긴 접지 리드가 펄스에 링잉을 발생시키는 문제가 앞서 논의 및 설명되었습니다. 접지 리드는 링잉 및 기타 파형 오차의 원인이 되는 것 이외에도 노이즈를 끌어들이는 안테나 역할을 할 수 있습니다.

접지 리드 문제에 대응하는 일차적 방어책은 의구심입니다. 항상 오실로스코프의 신호 디스플레이에서 관측되는 노이즈나 오차에 대해 의구심을 가져야 합니다. 노이즈 또는 오차는 신호의 일부일 수도 있지만, 측정 프로세스의 결과일 수도 있습니다. 다음은 오차가 측정 프로세스의 일부인지 판단하고, 만약 그렇다면 어떻게 문제에 대응할 것인지에 대한 정보와 지침을 제시하는 글입니다.

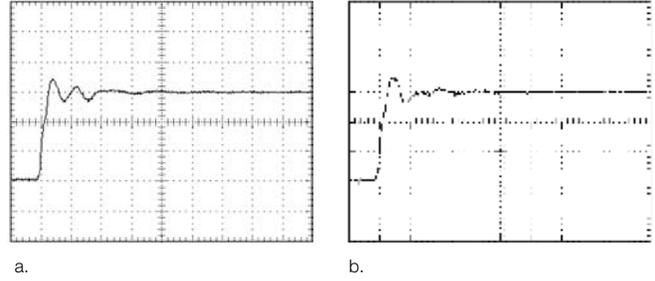


그림 6.1. 6인치 프로브 접지 리드(a)를 사용함에 따라 고속 스텝(1ns Tr)에 오차가 발생한 상황. 이 오차는 프로브 케이블을 이동하거나 케이블 위에 손을 대는 방법으로 변화시킬 수 있습니다(b).

접지 리드 길이

프로브의 접지 리드는 모두 일종의 인덕턴스를 가지고 있으며, 접지 리드가 길수록 인덕턴스도 커집니다. 접지 리드 인덕턴스는 프로브 팁 캐패시턴스 및 시그널 소스 캐패시턴스와 함께 특정 주파수에서 링잉을 발생시키는 공명 회로를 형성합니다.

열악한 접지로 인해 발생하는 링잉 또는 기타 오차를 확인하려면 다음과 같은 두 가지 조건이 존재해야 합니다:

1. 오실로스코프 시스템의 대역폭이 프로브 팁에서 신호의 고주파 성분을 다룰 수 있을 만큼 충분히 높아야 합니다.
2. 프로브 팁에서 입력 신호에 열악한 접지로 인한 링잉 또는 오차를 발생시키기에 충분한 고주파 정보(빠른 상승 시간)가 포함되어 있어야 합니다.

그림 6.1은 위 두 조건이 충족되었을 때 볼 수 있는 링잉과 오차의 예입니다. 그림 6.1에 나온 파형은 6인치 접지 리드가 있는 프로브를 사용하여 350MHz 오실로스코프로 캡처한 것입니다. 프로브 팁에 접촉되는 실제 파형은 상승 시간 1ns의 스텝 파형입니다.

이 1ns의 상승 시간은 오실로스코프의 대역폭($BW \approx 0.35/Tr$)과 동등하며, 프로브의 접지 회로 내에서 링잉을 발생시키기에 충분한 고주파 성분이 포함되어 있습니다. 이 링잉 신호는 스텝 파형과 직렬로 유입되며 그림 6.1에 나온 것처럼 스텝의 상부에 영향을 주는 오차로 표시됩니다.

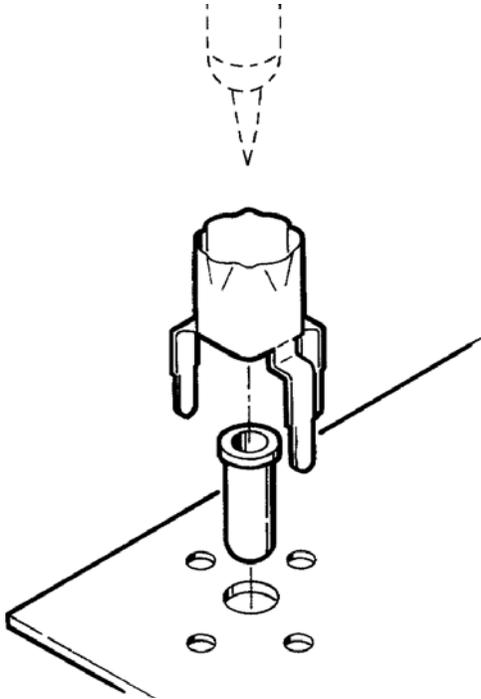


그림 6.2. ECB 대 프로브 팁 어댑터

그림 6.1에 나온 파형 디스플레이는 모두 동일한 오실로스코프와 프로브로 동일한 스텝 파형을 획득하면서 얻은 것입니다. 하지만 그림 6.1b에 있는 오차가 그림 6.1a와 비교할 때 다소 차이가 있음에 주목하십시오. 그림 6.1b에 나타난 차이는 프로브 케이블의 위치를 약간 변경하고 프로브 케이블의 일부에 손을 올려둔 결과입니다. 케이블의 위치를 변경하고 케이블 근처에 손을 놔둠으로써 프로브 접지 회로의 캐패시턴스와 고주파 종단 특성에 작은 변화가 생겨 오차가 변화되었습니다.

프로브 접지 리드가 고속 트랜지션에서 파형에 오차를 일으킬 수 있다는 사실은 반드시 인지해야 하는 중요한 요점입니다. 파형에서 발견되는 오차가 프로브의 접지 방식에 따른 결과가 아니라 단순히 파형의 일부일 수도 있다는 점 또한 인지해야 합니다. 두 가지 상황을 구별하려면 프로브 케이블을 움직여 보십시오. 프로브 위에 손을 올리거나 케이블을 움직일 때 오차가 변화된다면 해당 오차는 프로브 접지 시스템으로 인해 발생하는 것입니다. 정확하게 접지된(종단 처리) 프로브는 케이블 위치 또는 접촉에 대해 반응을 나타내지 않습니다.

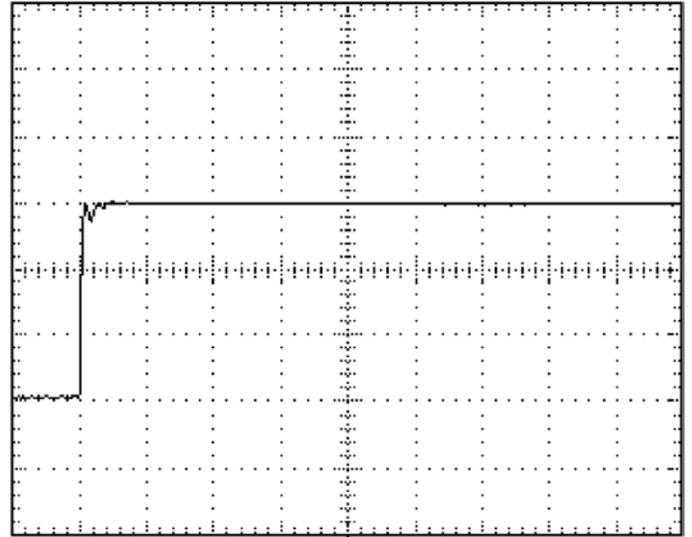


그림 6.3. ECB 대 프로브 팁 어댑터를 사용하여 획득한 상승 시간 1ns의 스텝 파형

위 요점에 대한 추가적인 설명을 위해 동일한 오실로스코프와 프로브로 동일한 파형을 다시 획득했습니다. 단지 이번에는 6인치의 프로브 접지 리드를 제거하고 ECB 대 프로브 팁 어댑터 장치를 통해 스텝 신호를 획득하였습니다(그림 6.2 참조). 그 결과인 오차가 없는 스텝 파형이 그림 6.3에 나와 있습니다. 프로브의 접지 리드를 제거하고 ECB 대 프로브 팁 어댑터를 통해 프로브를 직접 종단 처리함으로써 파형 디스플레이에서 거의 모든 오차가 사라졌습니다. 이제 디스플레이가 테스트 지점의 스텝 파형을 정확하게 묘사하고 있습니다.

위 예에서 두 가지 중요한 결론을 도출할 수 있습니다. 첫째는 고속 신호를 프로빙할 때 접지 리드를 가능한 짧게 유지해야 한다는 것입니다. 둘째는 제품 설계자들이 제품의 테스트 용이성을 고려하여 설계하면 제품 유지보수 및 문제 해결 과정에서 높은 효율성을 보장할 수 있다는 점입니다. 여기에는 테스트 환경을 더 확실하게 통제하고 설치 또는 유지보수 중에 제품 회로를 잘못 조정하는 위험을 예방할 수 있도록 필요한 곳에서 ECB 대 프로브 팁 어댑터를 사용하는 일이 포함됩니다.

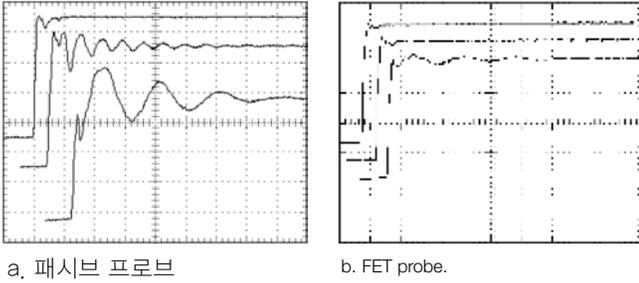


그림 6.4. 패시브 프로브와 액티브 프로브의 접지 리드 영향을 비교한 예. 패시브 프로브에 1/2인치, 6인치, 12인치 접지 리드를 사용한 경우 파형에 대한 영향(a). 동일한 접지 리드에 액티브 FET 프로브를 사용하여 획득한 동일 파형(b).

ECB 대 프로브 팁 어댑터가 설치되지 않은 환경에서 고속 파형을 측정해야 하는 경우 프로브 접지 리드를 가능한 짧게 유지해야 함을 기억하십시오. 많은 경우 필수 접지 팁이 포함된 특수 프로브 팁 어댑터를 사용하여 이를 해결할 수 있습니다. 또 다른 대안은 액티브 FET 프로브를 사용하는 것입니다. FET 프로브는 높은 입력 임피던스와 극히 낮은 팁 캐패시턴스(때로 1pF 미만)를 가지고 있으므로, 패시브 프로브에서 흔히 발생하는 접지 리드 문제를 대부분 해결할 수 있습니다. 그 예가 그림 6.4에 자세히 나와 있습니다.

접지 리드 노이즈 문제

노이즈는 오실로스코프 파형 디스플레이에 나타날 수 있는 또 다른 신호 왜곡 유형입니다. 링잉 및 오차의 경우와 마찬가지로, 노이즈도 실제로 프로브 팁에 전달되는 신호의 일부분이거나 부적절한 접지 기법의 결과로 신호에 나타나는 것일 수 있습니다. 차이점이 있다면 노이즈는 일반적으로 외부 소스에서 발생되며, 관측 대상 신호의 속도와 발생 여부가 연관되지 않는다는 점입니다. 달리 말하자면, 접지가 열악한 상태이면 속도에 관계없이 어떤 신호에서도 노이즈가 발생할 수 있습니다.

프로빙의 결과로 노이즈가 신호에 영향을 주는 방식에는 두 가지 주요 메커니즘이 존재합니다. 하나는 접지 루프 노이즈 유입입니다. 다른 하나는 프로브 케이블 또는 프로브 접지 리드를 통한 유도성 픽업입니다. 두 메커니즘은 다음과 같이 설명됩니다.

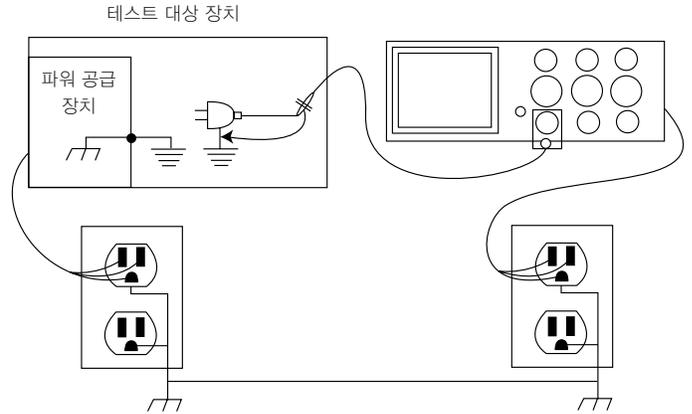


그림 6.5. 2개의 별도 전원 플러그에 연결된 오실로스코프, 프로브, 테스트 회로의 전체 접지 회로 또는 접지 루프

접지 루프 노이즈 유입

접지 시스템의 노이즈 유입은 오실로스코프 커먼과 테스트 회로 파워 라인 접지 및 프로브 접지 리드와 케이블 사이에 존재하는 접지 루프 내의 불필요한 전류 흐름으로 인한 것일 수 있습니다. 일반적으로 이러한 모든 지점은 0V이어야 하며 접지 전류가 흐르지 않아야 합니다. 하지만 오실로스코프와 테스트 회로가 서로 다른 건물의 시스템 접지에 연결된 경우, 소량의 전압 차이 또는 노이즈가 건물 접지 시스템 중 하나에 존재할 수 있습니다(그림 6.5 참조). 결과적인 전류 흐름은 프로브의 외부 케이블 차폐에 걸친 전압 강하로 발전됩니다. 이 노이즈 전압은 프로브 팁에서 전달되는 신호와 직렬로 오실로스코프에 유입됩니다. 그 결과 관심 신호에 노이즈가 편승하거나 노이즈에 관심 신호가 편승하는 것을 보게 됩니다.

접지 루프 노이즈 유입의 경우 노이즈가 종종 라인 주파수 노이즈(50 또는 60Hz)에 해당합니다. 하지만 그와 비슷한 비율로 노이즈가 에어컨 스위치 작동 등과 같은 건물 내 장비에서 기인한 스파이크 또는 버스트의 형태일 수도 있습니다.

접지 루프 노이즈 문제를 방지 또는 최소화하는 데에는 다양한 방법이 있습니다. 일차적인 접근 방식은 오실로스코프와 테스트 대상 회로에 동일한 전원 회로를 사용하여 접지 루프를 최소화하는 것입니다. 또한 프로브와 프로브 케이블도 잠재적인 간섭 소스로부터 멀리 떨어뜨려야 합니다. 특히 프로브 케이블을 장비 전원 케이블과 나란히 또는 가로질러 놓지 마십시오.

접지 루프 노이즈 문제가 지속되면 다음 중 한 가지 방법을 사용하여 접지 루프를 개방해야 할 수 있습니다.

1. 접지 격리 모니터 사용
2. 테스트 회로 또는 오실로스코프 중 한 곳에 파워 라인 격리 변압기 사용
3. 격리 증폭기를 사용하여 오실로스코프 프로브를 오실로스코프에서 격리
4. 차동 프로브를 사용하여 측정 수행(커먼 모드 노이즈 제거)

어떤 경우에도 3와이어 안전 접지 시스템을 무력화하여 오실로스코프 또는 테스트 회로를 격리하려고 시도해서는 안 됩니다. 측정의 플로팅이 필요한 경우라면 인증된 격리 변압기를 사용하거나 되도록 오실로스코프와 함께 사용되도록 특수 설계된 접지 격리 모니터를 사용하십시오.

주의

감전을 방지하기 위해 항상 프로브를 테스트 대상 회로에 연결하기 전에 프로브를 오실로스코프 또는 프로브 격리기에 연결하십시오.

유도 노이즈

노이즈는 특히 긴 케이블이 있는 프로브를 사용할 때 프로브 케이블에 대한 유도를 통해 공통 접지 시스템에 유입될 수 있습니다. 파워 라인 또는 기타 전류가 흐르는 도체에 근접할 경우 프로브의 외부 케이블 차폐에 전류 흐름이 유도될 수 있습니다. 회로는 건물 시스템 공통 접지를 통해 완성됩니다. 잠재적인 노이즈 발생 원인을 최소화하려면 가능한 짧은 케이블이 있는 프로브를 사용하고, 항상 프로브 케이블을 가능한 간섭 원인으로부터 떨어뜨려야 합니다.

또한 프로브 접지 리드에 직접 노이즈가 유도될 수도 있습니다. 이는 일반적인 프로브 접지 리드가 테스트 회로에 연결될 때 1회전 루프 안테나의 역할을 한 결과입니다. 이러한 접지 리드 안테나는 특히 로직 회로 또는 기타 빠르게 변화하는 신호로 인한 전자기 간섭에 취약합니다. 프로브 접지 리드가 클럭 라인 등 테스트 대상 회로 보드의 특정 영역에 너무 가깝게 배치된 경우, 접지 리드에서 프로브 팁의 신호와 혼합될 다른 신호가 유입될 수 있습니다.

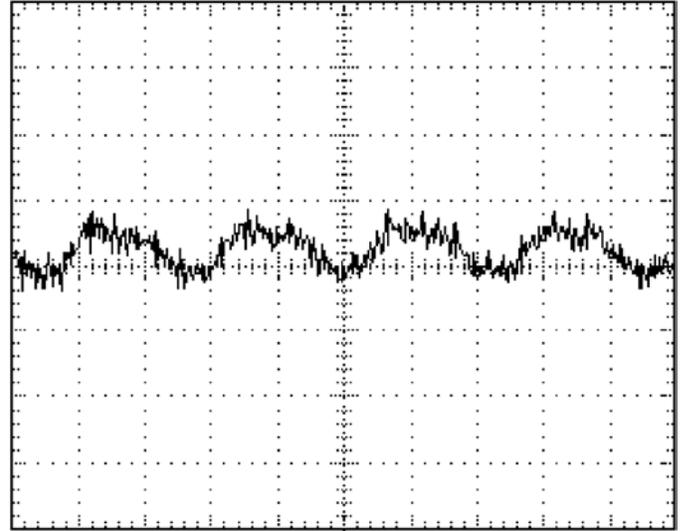


그림 6.6. 프로브 접지 루프(팁을 접지 클립에 단락)에서 발생하는 회로 보드 유도 노이즈의 예

오실로스코프의 신호 디스플레이에서 노이즈가 발견되는 경우, 문제는 해당 노이즈가 프로브 팁에서 전달되는 신호의 일부분으로 실제 발생하는 것인지, 아니면 프로브 접지 리드에 유도되는 것인지입니다.

이러한 의문점에 대한 해답은 프로브 접지 리드를 움직여보면 됩니다. 노이즈 신호의 레벨이 변화되면 노이즈가 접지 리드에 유도되고 있는 것입니다.

노이즈 원인을 식별할 수 있는 또 다른 아주 효율적인 접근 방식은 프로브를 회로에서 분리하고 프로브의 접지 리드를 프로브 팁에 연결하는 것입니다. 그런 다음 이 프로브 팁/접지 리드 루프 안테나를 회로 위에서 앞뒤로 움직여 보십시오. 이 루프 안테나로 회로 내의 강력한 방사 노이즈 영역을 알아낼 수 있습니다. 그림 6.6은 프로브 접지 리드를 프로브 팁에 연결하여 검색하는 방법으로 로직 회로 보드에서 찾아낼 수 있는 현상의 예입니다.

프로브 접지에 유도되는 노이즈를 최소화하려면 접지 리드를 테스트 대상 보드의 노이즈 소스로부터 멀리 떨어뜨리십시오. 또한 짧은 접지 리드를 사용해도 노이즈 유입량을 줄일 수 있습니다.

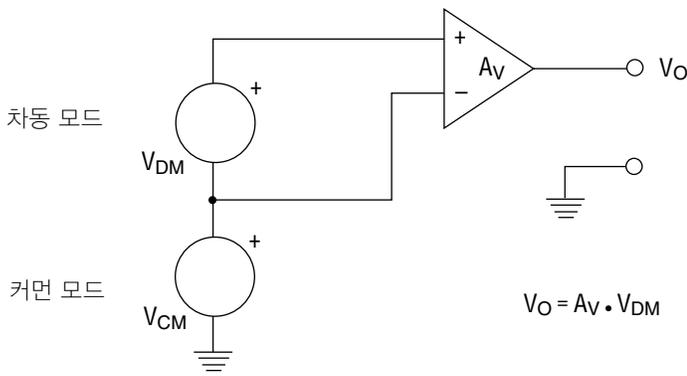


그림 6.7. 차동 증폭기에는 접지를 기준으로 하는 단일 신호로 차별화되는 2개의 신호 라인이 있습니다.

차동 측정

엄밀히 말하자면 모든 측정은 차동 측정에 속합니다. 프로브가 신호 지점에 연결되고 프로브 접지 리드가 회로 접지에 연결되는 표준 오실로스코프 측정은 실제로 테스트 지점과 접지 사이의 신호 차이를 측정하는 것입니다. 그러한 관점에서 보면 접지 신호 라인과 테스트 신호 라인의 두 가지 신호 라인이 있습니다.

하지만 실제로 차동 측정은 모두 접지 위에 있는 2개의 신호 라인을 측정하는 것을 의미합니다. 여기에는 그림 6.7에 나온 것처럼 두 신호 라인(더블-엔드 시그널 소스)을 오실로스코프에 입력할 수 있도록 접지를 기준으로 하는 하나의 신호 라인으로 대수학적으로 합산하는 일종의 차동 증폭기를 사용해야 합니다. 차동 증폭기로는 프로빙 시스템의 일부로 특수 증폭기를 사용할 수 있으며, 또는 오실로스코프에서 파형 연산을 지원할 경우 각 신호 라인을 개별적인 오실로스코프 채널에서 획득하고 두 채널을 대수학적으로 합산할 수 있습니다. 어떤 경우든 차동 측정 품질에서 핵심적인 고려 사항은 커먼 모드 신호의 제거입니다.

차이 신호와 커먼 모드 신호의 이해

이상적인 차동 증폭기라면 두 입력 사이의 "차이" 신호 V_{DM} 을 증폭하고 두 입력 사이에 공통적인 전압 V_{CM} 은 완전히 제거합니다. 그 결과는 다음과 같은 출력 전압입니다.

$$V_O = A_v (V_{+in} - V_{-in})$$

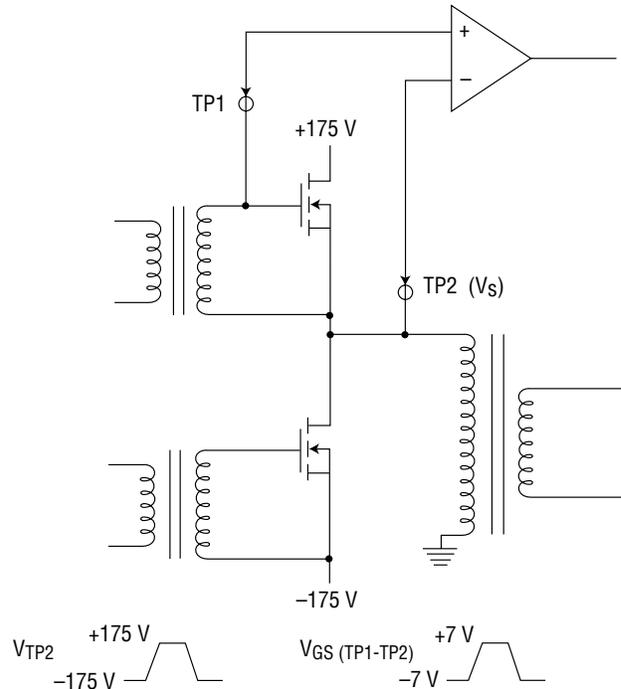


그림 6.8. 인버터 브리지에 있는 상단 트랜지스터의 게이트 대 소스 전압을 측정하는데 사용되는 차동 증폭기. 측정 도중 소스 전위가 350V로 변경됨에 유의하십시오.

여기서,

A_v = 증폭기의 게인

V_O = 대지 접지를 기준으로 하는 출력 신호

관심 전압 또는 차이 신호는 차동 전압 또는 차동 모드 신호라고 지칭하며 다음과 같이 표현됩니다.

$$V_{DM}$$

여기서,

$$V_{DM} = \text{위 방정식의 } V_{+in} - V_{-in} \text{ 항}$$

커먼 모드 전압 V_{CM} 이 위 방정식에 속하지 않음에 주목하십시오. 이는 이상적인 차동 증폭기라면 진폭 또는 주파수에 관계없이 모든 커먼 모드 성분을 제거하기 때문입니다.

그림 6.8에 차동 증폭기를 사용하여 인버터 회로에 있는 상단 MOSFET 소자의 게이트 드라이브를 측정하는 예가 나와 있습니다. MOSFET이 온/오프로 스위칭할 때마다 소스 전압은 + 공급 레일에서 - 레일로 전환됩니다. 변압기를 사용하면 게이트 신호가 소스를 기준으로 하도록 만들 수 있습니다. 차동 증폭기를 사용하면 2V/구역과 같이 충분한 해상도에서 유효 V_{GS} 신호(수 볼트의 변동)를 측정하고, 소스에서 접지로 향하는 수백 볼트의 트랜지션을 거부할 수 있습니다.

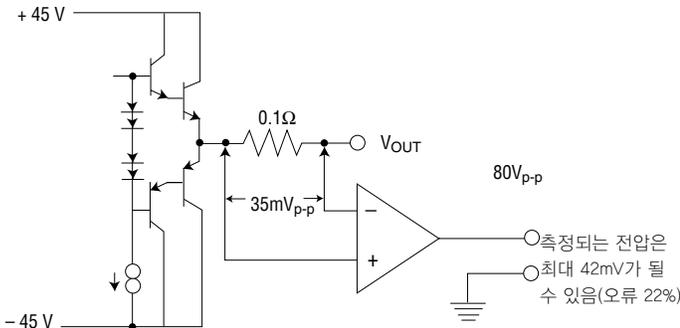


그림 6.9. 10,000:1 CMRR의 차동 증폭기에서 발생한 커먼 모드 오류

실제로 차동 증폭기는 모든 커먼 모드 신호를 제거하지 못합니다. 소량의 커먼 모드 전압이 출력에서 오류 신호로 나타납니다. 이 커먼 모드 오류 신호는 원하는 차동 신호와 구별할 수 없습니다.

불필요한 커먼 모드 신호를 최소화하는 차동 증폭기의 기능을 커먼 모드 제거비 또는 줄여서 CMRR이라고 부릅니다. CMRR의 순수한 정의는 “입력을 기준으로 차동 모드 게인을 커먼 모드 게인으로 나눈 값”입니다.

$$CMRR = A_{DM}/A_{CM}$$

평가 목적으로 CMRR 성능을 입력 신호 없이 평가할 수 있습니다. 여기서 얻은 CMRR은 커먼 모드 입력에서 기인하는 출력에서 확인되는 피상 V_{DM} 이 됩니다. 이는 10,000:1과 같은 비율 또는 dB로 표현됩니다.

$$dB = 20 \log (A_{DM}/A_{CM})$$

예를 들어 10,000:1의 CMRR은 80dB에 해당합니다. 이 내용의 중요성을 확인하려면 그림 6.9에 나온 오디오 전력 증폭기의 출력 감쇠 저항에서 전압을 측정해야 하는 경우를 가정해 보십시오. 최대 부하에서 감쇠기에 걸리는 전압(V_{DM})은 35mV, 출력 스윙(V_{CM})은 80V_{p-p}에

달해야 합니다. 사용되는 차동 증폭기는 1kHz에서 10,000:1의 CMRR 사양을 가진 제품입니다. 증폭기를 1kHz 사인파로 최대 출력까지 구동하면 커먼 모드 신호 중 1/10,000이 차동 증폭기의 출력에서 V_{DM} 으로 잘못 나타나며, 이는 80V/10,000 또는 8mV가 됩니다. 8mV의 잔류 커먼 모드 신호는 35mV의 유효 신호 중에서 최대 22%가 오류임을 나타냅니다!

CMRR 사양이 절대 값임에 유의해야 합니다. CMRR은 오류의 극성 또는 위상 변화 각도를 나타내지 않습니다. 따라서 표시되는 파형에서 간단히 오류를 뺄 수는 없습니다. 또한 CMRR은 일반적으로 DC에서 가장 높으며(최상) V_{CM} 주파수가 높아지면 낮아집니다. 일부 차동 증폭기는 CMRR 사양을 주파수의 함수로 표시하며, 간단히 몇몇 주요 주파수에서 CMRR 사양을 제공하기도 합니다. 어떤 경우든 차동 증폭기 또는 프로브를 비교할 때 동일한 주파수에서 CMRR 비교가 이루어지는지 확인하는 것이 중요합니다.

또한 CMRR 사양에서 커먼 모드 컴포넌트를 사인 곡선으로 가정하는 점을 인지하는 것도 중요합니다. 현실에서는 그렇지 않은 경우가 많습니다. 예를 들어, 그림 6.8에 있는 인버터의 커먼 모드 신호는 30kHz 사각파입니다. 사각파는 30kHz보다 상당히 높은 주파수에서도 에너지를 가지고 있으므로, CMRR이 30kHz 지점에서 지정된 것보다 나빠질 것입니다.

커먼 모드 컴포넌트가 사인 곡선이 아닌 경우에는 언제나 경험적인 테스트가 CMRR 오류의 정도를 결정하는 데 가장 빠른 방법입니다 (그림 6-10 참조). 두 입력 리드를 소스에 일시적으로 연결하십시오. 그러면 오실로스코프에 커먼 모드 오류만 표시됩니다. 이제 오류 신호의 크기가 의미 있는 수준인지 결정할 수 있습니다. V_{CM} 및 V_{DM} 사이의 위상 차이는 지정되지 않는다는 점을 기억하십시오. 따라서 차동 측정 결과에서 표시되는 커먼 모드 오류를 빼는 방법으로는 오류량을 정확히 알 수 없습니다.

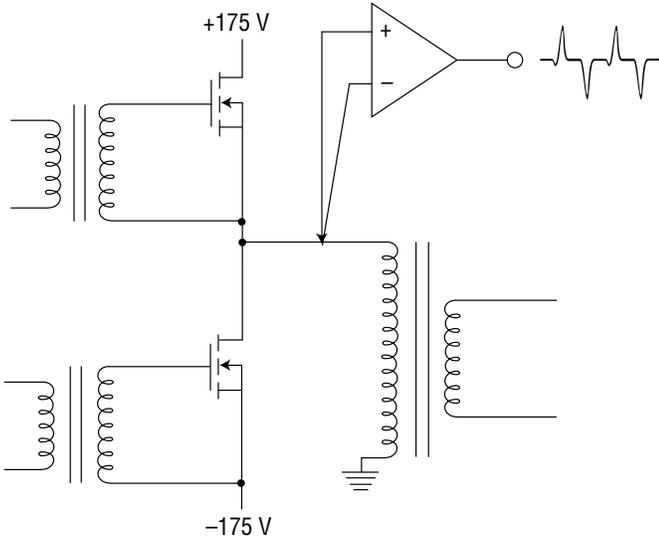


그림 6.10. 적절한 커먼 모드 거부를 위한 경험적 테스트. 두 입력은 모두 동일 지점에서 구동됩니다. 잔류 커먼 모드는 출력에서 나타납니다. 이 테스트로는 차동 소스 임피던스의 영향을 포착할 수 없습니다.

그림 6.10에 나온 테스트는 실제 측정 환경에서 커먼 모드 제거 오류의 정도를 판단하는 데 유용합니다. 하지만 이 테스트로 포착할 수 없는 영향이 한 가지 있습니다. 두 입력을 모두 동일한 지점에 연결하면 증폭기에서 인지하는 구동 임피던스에 차이가 존재하지 않습니다. 이 상황은 최상의 CMRR 성능을 이끌어 냅니다. 하지만 차동 증폭기의 두 입력이 현저히 다른 소스 임피던스로 구동된다면 CMRR이 저하됩니다.

차동 측정 오류 최소화

차동 증폭기 또는 프로브를 시그널 소스에 연결하는 것이 일반적으로 가장 큰 오류 원인입니다. 입력 매칭을 유지하려면 두 경로는 가능한 동일해야 합니다. 두 입력에 연결되는 케이블도 모두 같은 길이어야 합니다.

각 신호 라인에 개별적인 프로브를 사용하는 경우, 모델과 케이블 길이가 같아야 합니다. 높은 커먼 모드 전압으로 저주파 신호를 측정하는 경우 어테뉴에이터 프로브 사용을 피하십시오. 높은 게인에서는 감쇠 정도를 정밀하게 균형을 맞출 수 없으므로 절대 사용할 수 없습니다. 고전압 또는 고주파 애플리케이션에서 감쇠가 필요한 경우, 차동 애플리케이션용으로 특별히 설계된 전용 패시브 프로브를 사용해야 합니다.

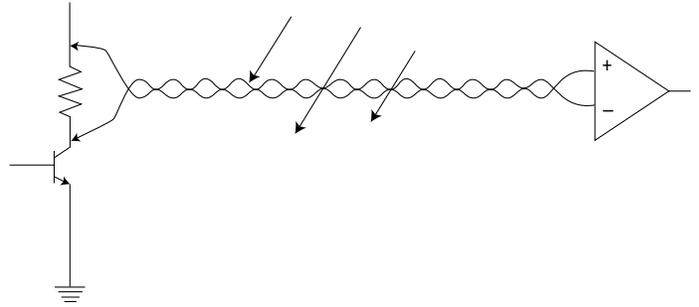


그림 6.11. 입력 리드를 서로 꼬아주면 루프 영역이 아주 작아지므로 이를 통과하는 전기장도 줄어듭니다. 유도된 전압은 모두 차동 증폭기에 의해 거부된 V_{CM} 경로에 속하기 쉽습니다.

해당 프로브는 DC 감쇠 및 AC 보상의 정밀한 트리밍 기능을 제공합니다. 최상의 성능을 얻으려면 각 특정 증폭기에 한 세트의 프로브를 전용으로 할당하고 프로브에 포함된 절차를 사용하여 증폭기와 함께 캘리브레이션해야 합니다.

넓게 펼쳐진 입력 케이블은 변압기 권선과 같은 역할을 합니다. 루프를 통과하는 AC 자기장은 증폭기 입력에 차동으로 나타나는 전압을 유도하게 되며, 출력에 충실하게 합산됩니다! 이를 최소화하려면 + 및 - 입력 케이블을 한 쌍으로 서로 꼬아주는 것이 일반적입니다. 이를 통해 라인 주파수 및 기타 노이즈 픽업을 줄일 수 있습니다. 그림 6.11에 나온 것처럼 입력 리드를 서로 꼬아준 경우, 유도된 전압은 모두 차동 증폭기에 의해 거부된 V_{CM} 경로에 속하기 쉽습니다.

과도한 커먼 모드가 발생하기 쉬운 고주파 측정의 경우 두 입력 리드를 페라이트 토로이드를 통과하도록 감아주면 상황을 개선할 수 있습니다. 이는 두 입력에 공통적인 고주파 신호를 감쇠해줍니다. 차동 신호는 양방향으로 코어를 통과하므로 영향을 받지 않습니다.

차동 증폭기의 입력 커넥터는 대부분 외피가 접지된 BNC 커넥터입니다. 프로브 또는 동축 입력 연결을 사용할 경우 항상 접지를 어떻게 처리해야 하는지에 대한 문제가 생깁니다. 측정 애플리케이션이 다양하기 때문에 엄밀한 규칙은 존재하지 않습니다.

낮은 주파수에서 저레벨 신호를 측정하는 경우 일반적으로 증폭기 쪽에서만 접지를 연결하고 입력 쪽에서는 모두 연결하지 않고 놔두는 것이 최상입니다.

이는 차폐에 유도된 전류의 귀환 경로를 제공하지만, 측정 또는 테스트 대상 장치를 어지럽힐 수 있는 접지 루프를 발생시키지 않습니다.

높은 주파수에서는 프로브 입력 캐패시턴스가 리드 인덕턴스와 함께 링잉이 발생할 수 있는 직렬 공명 “탱크” 회로를 형성합니다. 싱글-엔드 측정의 경우 가능한 가장 짧은 접지 리드를 사용하는 방법으로 이러한 영향을 최소화할 수 있습니다. 그럴 경우 인덕턴스가 낮아져 공명 주파수를 더 높은 쪽으로, 가능하면 증폭기의 대역폭 밖으로 이동하도록 만드는 효과가 있습니다. 차동 측정은 두 프로브 팁 사이에서 이루어지며, 접지 개념이 측정에 개입되지 않습니다. 하지만 링잉이 커먼 모드 컴포넌트의 빠른 상승으로 발생하는 것이라면, 짧은 접지 리드를 사용할 경우 공명 회로의 인덕턴스가 감소되며 따라서 링잉 컴포넌트가 감소됩니다. 일부 상황에 따라 접지 리드를 연결하는 것으로 고속 차동 신호로 발생된 링잉이 감소될 수도 있습니다. 커패시터로 바이패스된 경우 등 커먼 모드 소스가 높은 주파수에서 접지에 대해 아주 낮은 임피던스를 가진 경우가 이에 해당합니다. 위와 같은 사례에 해당되지 않는다면 접지 리드를 연결하는 것이 상황을 악화시킬 수도 있습니다! 그럴 경우에는 프로브를 입력 쪽에 함께 접지해 보십시오. 그러면 차폐를 통해 유효 인덕턴스가 낮아집니다.

물론 프로브 접지를 회로에 연결하면 접지 루프가 발생할 수 있지만, 고주파 신호를 측정할 때는 일반적으로 문제가 되지 않습니다. 높은 주파수를 측정할 때 가장 좋은 방법은 접지 리드가 있는 상태와 없는 상태에서 측정을 실행해 본 다음 최상의 결과를 제공하는 설정을 사용하는 것입니다.

프로브 접지 리드를 회로에 연결할 때는 접지에 연결하는 것을 잊지 마십시오! 차동 증폭기를 사용할 때는 손상의 위험 없이 회로 아무 곳이나 프로빙할 수 있으므로 접지 연결이 어느 곳인지 잊어버리기 쉽습니다.

작은 신호 측정

저진폭 신호를 측정하는 데에는 일련의 고유한 과제가 존재합니다. 그러한 과제 중 가장 중요한 것은 노이즈 및 적절한 측정 감도의 문제입니다.

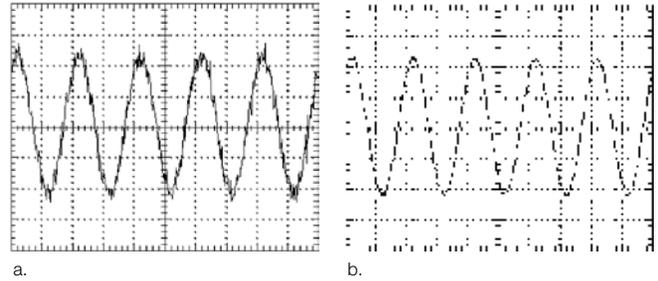


그림 6.12a 및 그림 6.12b. 노이즈가 많은 신호(a)는 신호 평균화(b)를 통해 정화할 수 있습니다.

노이즈 감소

수백 mV 이상의 신호를 측정할 때 무시할 수 있는 것으로 간주되던 주변 노이즈 레벨도 수십 mV 이하의 신호를 측정할 때는 더 이상 무시할 수 없습니다. 결과적으로, 측정 시스템에 포착되는 노이즈를 줄이려면 접지 루프를 최소화하고 접지 리드를 짧게 유지하는 것이 필수적입니다. 극단적인 경우, 초저진폭 신호를 노이즈 없이 측정하려면 전력선 필터 및 차폐실이 필요할 수도 있습니다.

하지만 극단적인 조치에 의존하기 전에 노이즈 문제에 대한 간단하고 경제적인 해결책으로 신호 평균화를 고려해 보아야 합니다. 측정하려는 신호가 반복적이며 제거하려는 노이즈가 무작위인 경우, 신호 평균화를 통해 획득되는 신호의 SNR(신호 대 잡음비)을 현저히 개선할 수 있습니다. 그 예가 그림 6.12에 나와 있습니다.

신호 평균화는 대다수 디지털 오실로스코프의 기본 기능으로, 반복적인 파형의 복수 획득 내용을 합산하고 복수 획득 내용에서 평균 파형을 계산하는 방법으로 작동합니다. 무작위 노이즈의 장기적인 평균 값은 0이므로 신호 평균화는 반복적인 신호에서 무작위 노이즈를 줄여줍니다. 개선 규모는 SNR이라는 용어로 표현됩니다. 이론상 신호 평균화는 두 평균의 거듭제곱당 3dB로 SNR을 개선합니다. 따라서 단지 두 파형 획득(2¹)의 평균만으로도 최대 3dB의 SNR 개선이 가능하며, 4개의 획득(2²)을 평균하면 6dB, 8개를 평균하면(2³) 9dB의 개선이 가능합니다.

측정 감도 향상

오실로스코프의 측정 감도는 자체 입력 회로의 기능입니다. 입력 회로는 신호를 오실로스코프 화면에 진폭 캘리브레이션 상태로 표시할 수 있도록 입력 신호를 증폭 또는 감쇠합니다. 신호를 표시하는 데 필요한 증폭 또는 감쇠의 규모는 표시 구역당 볼트(V/div)의 단위로 조정되는 오실로스코프의 수직 감도 설정을 통해 선택됩니다..

소규모 신호를 표시 및 측정하려면 오실로스코프 입력에 최소한 몇 구역의 신호 표시 높이를 제공하는 데 충분한 게인 또는 감도가 있어야 합니다. 예를 들어, 20mV p-to-p 신호의 2 구역 높이를 디스플레이를 제공하려면 오실로스코프에 10mV/div의 수직 감도 설정이 필요합니다. 10mV 신호를 동일한 2 구역 디스플레이로 표시하려면 더 높은 5mV/div의 감도 설정이 필요합니다. 낮은 구역당 볼트 설정이 높은 감도에 해당하며, 높은 구역당 볼트 설정은 낮은 감도에 해당합니다.

소규모 신호를 측정하려면 적절한 오실로스코프 감도 이외에도 적합한 프로브가 필요합니다. 일반적으로 대부분의 오실로스코프에서 표준 액세서리로 제공되는 일반 프로브는 여기에 해당되지 않습니다. 표준 액세서리 프로브는 대개 10X 프로브이며, 오실로스코프 감도를 10의 계수로 줄입니다. 달리 말하자면, 5mV/div의 오실로스코프 설정이 10X 프로브를 사용하면 50mV/div 설정과 같아집니다. 결과적으로 오실로스코프의 가장 높은 신호 측정 감도를 유지하려면 어테뉴에이터가 아닌 1X 프로브를 사용해야 합니다.

이전 장에서 설명한 내용이지만 1X 패시브 프로브는 대역폭이 낮고 입력 임피던스도 낮으며 일반적으로 팁 캐패시턴스가 높습니다. 이는 측정하는 소규모 신호의 대역폭 한계와 프로브에 의한 시그널 소스 부하 작용의 가능성에 대해 각별히 주의를 기울여야 함을 의미합니다. 이 중 어떤 것이라도 문제가 된다면 훨씬 대역폭이 높고 부하 작용이 적은 1X 액티브 프로브를 활용하는 것이 더 나은 방법입니다.

소규모 신호의 진폭이 오실로스코프의 감도 범위 이하일 경우, 일종의 전치 증폭이 필요합니다. 극소규모 신호는 노이즈에 취약하므로 일반적으로 차동 전치 증폭이 사용됩니다. 차동 전치 증폭은 커먼 모드 제거를 통한 일부 노이즈 면역성과, 소규모 신호를 증폭하여 오실로스코프의 감도 범위 내에 들도록 만드는 장점을 제공합니다.

오실로스코프용으로 설계된 차동 전치 증폭기를 사용하면 10 μ V/div 정도의 감도를 얻을 수 있습니다. 특별히 설계된 이러한 전치 증폭기는 노이즈가 심한 환경에서도 5 μ V 정도의 작은 신호에 대해 오실로스코프 측정을 지원하는 기능을 갖추고 있습니다!

하지만 차동 전치 증폭기의 장점을 최대한 활용하려면 매칭되는 고품질 패시브 프로브 세트가 필요함을 기억하십시오. 매칭된 프로브를 사용하지 않을 경우 차동 전치 증폭기의 커먼 모드 노이즈 제거 기능이 무효화됩니다.

또한 차동 측정이 아니라 싱글-엔드 측정을 해야 하는 경우, - 신호 프로브를 테스트 회로 접지에 연결할 수 있습니다. 이는 본질적으로 신호 라인과 신호 접지 사이의 차동 측정과 같습니다. 하지만 이를 적용하면 신호 라인과 접지 사이에 공통적인 노이즈가 없어지므로 커먼 모드 노이즈 제거 기능은 상실됩니다.

마지막으로, 모든 프로브 및 프로브 증폭기를 연결 및 사용할 때는 제조사에서 권장하는 절차를 준수하십시오. 특히 액티브 프로브의 경우, 전압에 민감한 프로브 컴포넌트를 손상시킬 수 있는 과전압에 대해 각별히 주의하십시오.

안전 주의사항 설명

부상이나 테스트 장비 또는 테스트 장비가 연결된 제품의 손상을 방지하려면 다음 안전 주의사항을 자세히 검토하십시오. 위험을 방지하기 위해 제조사가 지정한 방법대로 테스트 장비를 사용하십시오.

모든 전압과 전류는 신변의 위험 또는 장비 손상 또는 두 가지 모두와 관련된 잠재적인 위험성이 있다는 점을 명심하십시오.

모든 단자의 정격 준수

- 화재 또는 감전을 방지하기 위해 제품의 정격과 표시 사항을 모두 준수하십시오. 제품에 연결하기 전에 제품 설명서에서 추가적인 정격 정보를 참조하십시오.
- 단자의 최대 정격을 초과하는 전위를 단자에 적용하지 마십시오.
- 프로브의 접지 리드는 대지 접지에만 연결하십시오.

주의

플로팅 오실로스코프 애플리케이션에서 작동하도록 특별히 설계 및 지정된 스코프의 경우 2차 리드는 접지 리드가 아닌 커먼 리드입니다. 이 경우 해당 리드를 연결할 수 있는 최대 전압 레벨에 대한 제조사의 사양을 따르십시오.

- 프로브 및 테스트 장비의 설명서에서 경감 정보를 확인하고 준수하십시오. 예를 들어, 주파수가 상승하면 최대 입력 전압 정격이 낮아질 수 있습니다.

적절한 접지 절차에 따른 사용

- 프로브는 오실로스코프 전원 코드의 접지 도체를 통해 간접적으로 접지됩니다. 감전을 방지하기 위해 접지 도체를 반드시 대지 접지에 연결해야 합니다. 제품의 입력 또는 출력 단자에 연결하기 전에 제품이 적절히 접지되어 있는지 확인하십시오.
- 절대 테스트 장비의 전원 코드 접지부를 무력화하려 시도하지 마십시오.
- 프로브 접지 리드는 대지 접지에만 연결하십시오.
- 해당 유형의 작동에 적합하도록 특별히 설계 및 지정되지 않은 오실로스코프를 접지에서 격리하거나, 접지 리드를 접지 이외의 부분에 연결할 경우 오실로스코프 및 프로브의 커넥터, 컨트롤 또는 기타 표면에 위험한 전압이 흐르게 될 수 있습니다.

주의

이는 대부분의 스코프에 적용되지만, 일부 플로팅 애플리케이션에서 작동하도록 설계 및 지정된 스코프도 존재합니다.

올바른 방법으로 프로브 연결 및 분리

- 프로브를 먼저 오실로스코프에 연결하십시오. 그 다음 프로브를 테스트 지점에 연결하기 전에 적절히 접지하십시오.
- 프로브 접지 리드는 대지 접지에만 연결해야 합니다.
- 프로브를 테스트 대상 회로에서 분리할 때는 먼저 프로브 팁을 회로에서 분리한 다음 접지 리드를 분리하십시오.
- 프로브 팁과 프로브 커넥터의 중심 도체 외에 프로브의 접촉 가능한 모든 금속 부분(접지 클립 포함)은 커넥터 외피에 연결되어 있습니다.

노출된 회로 주의

- 손 또는 신체의 다른 부분이 노출된 회로나 컴포넌트에 닿지 않도록 주의하십시오.
- 프로브 팁과 접지 리드 클립이 서로 또는 테스트 대상 회로의 다른 부분과 우발적으로 스치는 일이 발생하지 않도록 연결을 확인하십시오.

프로브를 다루는 동안 RF 화상 주의

- RF(무선 주파수) 화상을 방지하기 위해 그림 7.1에 나온 것과 같은 RF 화상 위험 전압 및 주파수 한계를 초과하는 소스에 연결된 프로브 리드를 손으로 만지지 마십시오.
- 접지되지 않은 프로브 및 리드 세트를 사용하여 일반적으로 300V 및 1MHz 이상인 신호를 측정할 경우 항상 RF 화상의 위험이 존재합니다.
- RF 화상 위험 영역 내에서 프로브를 사용해야 하는 경우 프로브 리드를 연결 또는 분리하기 전에 소스의 전원을 끄십시오. 회로가 작동 중인 상태에서 입력 리드를 손으로 만지지 마십시오.

커버 없이 작동 금지

- 커버 또는 보호 하우징이 분리된 상태에서 오실로스코프 및 프로브를 작동하지 않아야 합니다. 커버, 차폐, 프로브 본체 또는 커넥터 하우징을 분리할 경우 위험할 수 있는 전압이 흐르는 도체 또는 컴포넌트가 노출됩니다.

습기가 많은 환경에서 작동 금지

- 감전 또는 장비 손상을 방지하기 위해 측정 장비를 젖거나 축축한 조건에서 작동하지 마십시오.

폭발성 대기가 있는 곳에서 작동 금지

- 폭발성 대기가 있는 곳에서 전기 또는 전자 장비를 작동할 경우 폭발이 일어날 수 있습니다. 폭발 가능성이 있는 대기는 휘발유, 솔벤트, 에테르, 프로판 또는 기타 휘발성 물질이 사용되고 있거나, 사용된 적이 있거나, 저장 중인 곳이라면 어디나 존재할 수 있습니다. 또한 공기 중에 부유하는 미세 먼지 또는 분진도 폭발성 대기가 될 수 있습니다.

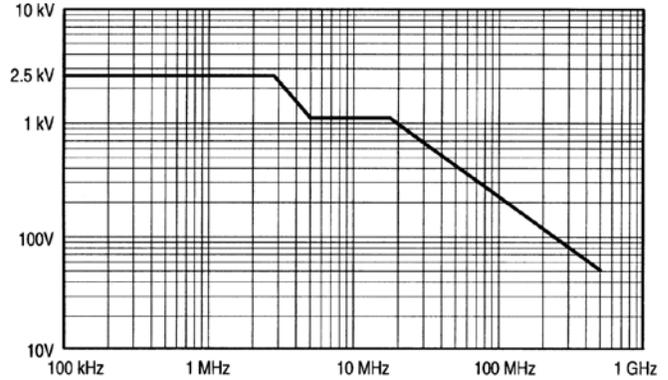


그림 7.1. 경감 곡선의 예. 실제 값과 범위는 특정 제품에 따라 달라집니다.

고장이 의심되는 경우 작동 금지

- 오실로스코프 또는 프로브에 전기적이거나 물리적으로 손상이 있다고 의심되는 경우, 계속 사용하기 전에 자격을 갖춘 서비스 전문가에게 검사를 의뢰하십시오.

프로브 표면은 깨끗하고 건조하게 유지

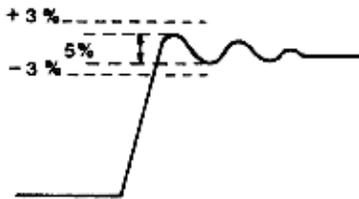
- 프로브 표면의 수분, 먼지 및 기타 오염물이 있을 경우 전도성 경로가 될 수 있습니다. 안전하고 정확한 측정을 위해 프로브 표면을 깨끗하고 건조한 상태로 유지하십시오.
- 프로브를 세척할 때는 프로브 설명서에 지정된 절차만 사용해야 합니다.

프로브를 액체에 담그지 말 것

- 프로브를 액체에 담글 경우 내부 컴포넌트 사이에 전도성 경로가 형성되거나, 내부 컴포넌트 또는 외부 본체 및 차폐 부분이 손상되거나 부식될 수 있습니다.
- 프로브를 세척할 때는 프로브 설명서에 지정된 절차만 사용해야 합니다.

용어집

aberrations(오차) - 이상적인 또는 정상적인 상태를 벗어난 편차를 가리키며, 일반적으로 파형 또는 펄스의 평평한 상단 및 하단과 관련됩니다. 신호에는 시그널 소스의 신호 상태로 인해 발생하는 오차와, 측정 시스템에 의해 신호에 추가되는 오차가 있을 수 있습니다. 오차가 관련된 측정 환경이라면 오차가 실제로 신호의 일부인지 아니면 측정 프로세스의 결과인지 판단하는 것이 중요합니다. 일반적으로 오차는 평탄한 반응에서 벗어난 백분율 편차로 지정됩니다.



active probe(액티브 프로브) - 프로브의 신호 조정 네트워크의 일부로 트랜지스터 또는 기타 능동 소자가 포함된 프로브입니다.

attenuation(감쇠) - 신호의 진폭이 감소되는 프로세스를 의미합니다.

attenuator probe(어테뉴에이터 프로브) - 신호의 감쇠를 통해 오실로스코프의 스케일 계수 범위를 실질적으로 배가시키는 프로브입니다. 예를 들어, 10X 프로브는 오실로스코프 디스플레이를 10의 계수로 실질적으로 배가시킵니다. 이러한 프로브는 프로브 팁에 적용되는 신호를 감쇠시킴으로써 배가 효과를 달성하며, 따라서 10X 프로브를 사용하면 100V 피크 대 피크 신호가 10V 피크 대 피크로 감쇠되고, 오실로스코프 스케일 계수의 10배 증대를 통해 오실로스코프에 100V 피크 대 피크 신호로 표시됩니다.

bandwidth(대역폭, BW) - 중간 대역 파워에서 3dB 이상 파워가 감소되는 일 없이 네트워크 또는 회로가 통과하는 연속적인 주파수 대역입니다.

capacitance(캐패시턴스) - 전하가 저장되는 전기적 현상입니다.

CMRR(Common-Mode Rejection Ratio: 커먼 모드 제거비) - 차동 측정에서 차동 프로브가 두 테스트 지점에 공통적인 신호를 제

거할 수 있는 역량을 의미합니다. CMRR은 차동 프로브 및 증폭기의 주요한 장점이며, 다음과 같이 정의됩니다.

$$CMRR = |A_d/A_c|$$

여기서,

A_d = 차동 신호에 대한 전압 게인

A_c = 커먼 모드 신호에 대한 전압 게인

current probe(전류 프로브) - 와이어의 전류 흐름을 감지하고 감지된 전류를 오실로스코프에서 측정할 수 있도록 대응하는 전압으로 변환하는 장치입니다.

derate(경감) - 하나 이상의 작동 변수를 기준으로 컴포넌트 또는 시스템의 정격을 낮추는 것을 의미하며, 예를 들어 진폭 측정 정밀도는 측정 대상 신호의 주파수를 기준으로 경감될 수 있습니다.

differential probe(차동 프로브) - 차동 증폭기를 사용하여 두 신호를 감산함으로써 오실로스코프의 한 채널에서 하나의 차동 신호만을 측정하게 만들어주는 프로브입니다.

differential signals(차동 신호) - 대지 접지가 아니라 서로를 기준으로 삼는 신호입니다.

distributed elements(분산 소자, L, R, C) - 도체의 길이에 걸쳐 분포된 저항 및 리액턴스를 의미하며, 분포 소자 값은 일반적으로 집중 컴포넌트 값에 비해 작습니다.

FET(field-effect transistor: 전계 효과 트랜지스터) - 게이트 단자의 전압으로 장치를 통과하는 전류의 양을 제어하는 전압 제어 소자입니다.

floating measurements(플로팅 측정) - 접지 전위가 아닌 두 지점 사이에서 행하는 측정을 의미합니다.

grounding(접지) - 측정을 하려면 프로브가 시그널 소스에서 전류를 일부 끌어와야 하므로, 해당 전류의 귀환 경로가 있어야 합니다. 이 귀환 경로는 회로 접지 또는 커먼에 연결된 프로브 접지 리드를 통해 제공됩니다.

Hall Effect(홀 효과) - 전도성 재료를 따라 흐르는 전류와 자기장의 적용에 따라 전류에 직각으로 적용되는 외부 자기장 모두에 수직인 전위가 발생하는 것을 의미합니다.

harmonics(고조파) - 파형의 기본 주파수(1/주기)와 고조파 주파수라고 불리는 기본 주파수의 정수 배수(1x, 2x, 3x, ...) 주파수로 구성된 주파수 성분이 포함된 사각파, 톱니 파형 및 기타 주기적인 비사인 파형을 의미하며, 파형의 2차 고조파에는 기본 주파수의 2배인 주파수가 포함되어 있으며, 3차 고조파 주파수는 기본 주파수의 3배와 같이 진행됩니다.

impedance(임피던스) - AC 신호 흐름을 지체 또는 제한하는 프로세스. 임피던스는 옴으로 표현되며 정전성(XC) 또는 유도성(XL)이 될 수 있는 저항 성분(R) 및 리액턴스 성분(X)으로 구성됩니다. 임피던스(Z)는 다음과 같은 복합형,

$$Z = R + jX$$

$$M = \sqrt{R^2 + X^2}$$

또는 규모 및 위상으로 표현되며, 여기서 규모(M)는,

$$\theta = \arctan (X/R)$$

이며, 위상 θ 는 다음과 같습니다.

inductance(인덕턴스) - 회로 자체 또는 주변 회로의 전류 변화로 인해 회로에 기전력이 유도되는 전기 회로의 특성입니다.

jitter(지터) - 디지털 신호가 시간상 이상적인 위치에서 일으키는 유의 순간의 단기적인 변화를 의미합니다.

linear phase(선형 위상) - 적용된 사인파의 위상이 사인파 주파수의 증가에 따라 선형으로 이동하는 네트워크의 특성을 의미하며, 선형 위상 이동이 있는 네트워크는 비사인 파형에서 고조파의 상대 위상 관계를 유지하므로 파형에 위상과 관련된 왜곡은 존재하지 않습니다.

load(부하) - 시그널 소스 전반에 배치되는 임피던스를 의미하며, 개방 회로는 "무부하" 상태가 됩니다.

loading(부하 작용) - 소스에 적용된 부하가 소스에서 전류를 끌어내는 프로세스를 의미합니다.

logic probe(로직 프로브) - 임계 전압을 비교하여 오실로스코프 또는 MSO(혼합 신호 오실로스코프)에서 분석할 수 있도록 로직 상태(1 또는 0)를 판정하는 데 사용되는 장치입니다.

low-capacitance probe(저캐패시턴스 프로브) - 입력 캐패시턴스가 극히 낮은 패시브 프로브입니다.

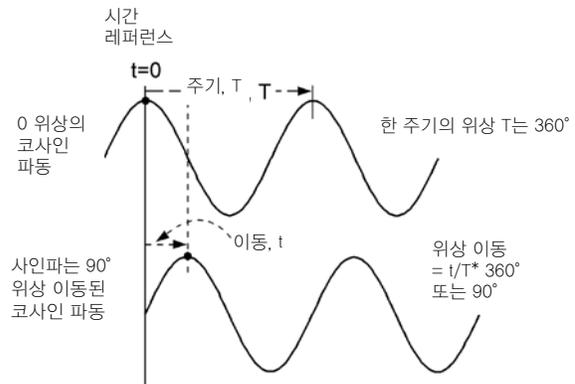
MOSFET - Metal-oxide semiconductor field-effect transistor의 약어로 두 가지 주요 FET 유형 중 하나입니다.

noise(노이즈) - 오실로스코프 파형 디스플레이에 나타날 수 있는 신호 왜곡 유형입니다.

optical probe(광학 프로브) - 광전력을 감지하여 오실로스코프에서 측정할 수 있는 대응 전압 신호로 변환하는 장치입니다.

passive probe(패시브 프로브) - 네트워크 등량이 저항성(R), 유도성(L) 또는 용량성(C) 소자로만 구성된 프로브를 의미하며, 능동 소자가 포함되지 않은 프로브입니다.

phase(위상) - 파형의 시간 상관 위치, 또는 레퍼런스 포인트나 파형에 대응하여 파형 컴포넌트를 표현하는 방법의 하나입니다. 예를



들어, 코사인 파동은 본질적으로 위상이 0이며, 사인 파동은 코사인 파동이 90도 위상 이동한 파동입니다.

probe(프로브) - 테스트 지점 또는 시그널 소스와 오실로스코프 사이에 물리적, 전기적 연결을 만들어주는 장치입니다.

probe power(프로브 전원) - 오실로스코프, 프로브 증폭기 또는 테스트 대상 회로 등과 같은 소스에서 프로브에 공급되는 전력을 의미합니다. 전원이 필요한 프로브는 일반적으로 일종의 능동 전자 회로를 가지고 있으므로, 액티브 프로브라고 지칭됩니다.

reactance(리액턴스) - 신호 주파수를 기준으로 전류 흐름을 제한하는 방식으로 AC 신호에 반응하는 임피던스 성분을 의미합니다. 커패시터(C)는 AC 신호에 용량성 리액턴스를 가하며, 이는 다음과 같은 관계에 따라 옴으로 표시됩니다.

$$X_c = 1/2\pi fC$$

여기서,

X_c = 용량성 리액턴스(단위: 옴)

$$\pi = 3,14159...$$

f = 주파수(단위: Hz)

C = 캐패시턴스(단위: 패럿)

인덕터(L)는 AC 신호에 유도성 리액턴스를 가하며, 이는 다음과 같은 관계에 따라 옴으로 표시됩니다.

$$X_L = 2\pi fL$$

여기서,

X_L = 유도성 리액턴스(단위: 옴)

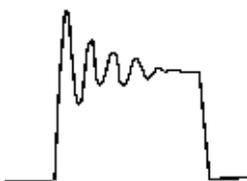
$$\pi = 3,14159....$$

f = 주파수(단위: Hz)

L = 인덕턴스(단위: 헨리)

readout(리드아웃) - 파형 스케일 정보, 측정 결과 또는 기타 정보를 제공하기 위해 오실로스코프 화면에 표시되는 영숫자 정보입니다.

ringing(링잉) - 회로 공명의 결과로 발생하는 진동이며, 펄스에서 발견되는 감쇠된 사인파 변동을 링잉이라고 부릅니다.



rise time(상승 시간, T_r) - 펄스의 상승 트랜지션에서, 상승 시간이란 펄스가 10%의 진폭 레벨에서 90%의 진폭 레벨로 상승하는데 걸리는 시간을 의미합니다.

shielding(차폐) - 회로와 외부 노이즈 소스 사이에 접지된 전도성 재료의 판을 배치하여 차폐 재료가 노이즈 신호를 차단하고 회로에서 멀리 전도되도록 만드는 작업을 의미합니다.

signal averaging(신호 평균화) - 반복적인 파형의 복수 획득 내용을 합산하고 복수 획득 내용에서 평균 파형을 계산하는 것을 의미합니다.

signal fidelity(신호 충실도) - 프로브 팁에서 발생한 것처럼 오실로스코프 입력에서 재현되는 신호를 의미합니다.

single-ended signals(싱글-엔드 신호) - 접지를 기준으로 하는 신호입니다.

SNR(신호 대 잡음비) - 신호 진폭과 노이즈 진폭의 비율이며, 일반적으로 다음과 같이 dB로 표현됩니다.

$$SNR = 20 \log (V_{\text{signal}}/V_{\text{noise}})$$

source(소스) - 신호 전압 또는 전류의 기원 지점 또는 소자를 의미하며, 또한 FET(field effect transistor)의 소자 중 하나입니다.

source impedance(소스 임피던스) - 신호를 되돌아볼 때 확인할 수 있는 임피던스입니다.

TDR(time domain reflectometry) - 고속 펄스를 전송 경로에 적용하고 펄스의 반향을 분석하여 전송 경로 내 불연속(오류 또는 부정합)의 위치와 유형을 판정하는 측정 기법입니다.

trace ID(트레이스 ID) - 오실로스코프에 복수의 파형 트레이스가 표시되는 경우, 트레이스 ID 기능을 사용하면 특정 파형 트레이스가 특정 프로브 또는 오실로스코프 채널에서 발생된 것임을 식별할 수 있습니다. 프로브에 있는 트레이스 ID 버튼을 잠깐 누르면 트레이스를 식별할 수 있도록 오실로스코프에서 해당 파형 트레이스가 어떤 방식으로든 순간적으로 변화합니다.

Contact Tektronix:

ASEAN / Australasia (65) 6356 3900
Austria 00800 2255 4835*
Balkans, Israel, South Africa and other ISE Countries +41 52 675 3777
Belgium 00800 2255 4835*
Brazil +55 (11) 3759 7600
Canada 1 (800) 833-9200
Central East Europe, Ukraine and the Baltics +41 52 675 3777
Central Europe & Greece +41 52 675 3777
Denmark +45 80 88 1401
Finland +41 52 675 3777
France 00800 2255 4835*
Germany 00800 2255 4835*
Hong Kong 400-820-5835
India (91) 80-42922600
Italy 00800 2255 4835*
Japan 81 (3) 6714-3010
Luxembourg +41 52 675 3777
Mexico, Central/South America & Caribbean 52 (55) 53 35 10 85
Middle East, Asia and North Africa +41 52 675 3777
The Netherlands 00800 2255 4835*
Norway 800 16098
People's Republic of China 400-820-5835
Poland +41 52 675 3777
Portugal 80 08 12370
Republic of Korea 82 (2) 6917-5000
Russia & CIS +7 (495) 7484900
South Africa +27 11 206 8360
Spain 00800 2255 4835*
Sweden 00800 2255 4835*
Switzerland 00800 2255 4835*
Taiwan 886 (2) 2722-9622
United Kingdom & Ireland 00800 2255 4835*
USA 1 (800) 833-9200

* European toll-free number. If not accessible, call: +41 52 675 3777

Contact List Updated 09 December 2009

추가 정보

텍트로닉스는 첨단 기술을 다루는 엔지니어들을 지원하고자 포괄적이며 꾸준히 확장되는 애플리케이션 노트, 기술 보고서 및 기타 리소스 등의 자료 컬렉션을 유지하고 있습니다. www.tektronix.com을 참조하십시오.



Copyright © 2009, Tektronix, All rights reserved. 텍트로닉스 제품은 발급되었거나 출원 중인 미국 및 기타 국가의 특허로 보호됩니다. 이 문서에 수록된 정보는 이전에 발행된 모든 자료의 내용에 우선합니다. 텍트로닉스는 사양과 가격을 변경할 수 있는 권리를 가집니다. TEKTRONIX, TEK은 Tektronix, Inc.의 등록 상표입니다. 이 문서에 인용된 다른 모든 상표명은 해당 회사의 서비스 마크, 상표 또는 등록 상표입니다.

06/10
TEK1510

60K-6053-11

한국텍트로닉스(주)

서울시 강남구 삼성동 157-37 일송빌딩 7층 www.tektronix.co.kr / 02-6917-5000 / korea.mktg@tek.com

Tektronix[®]

