

Part

I
1

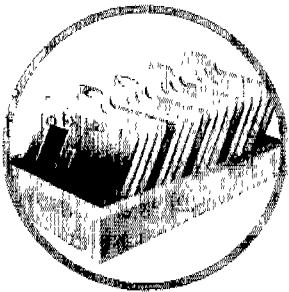
오실로스코프를 이용한 전력측정

한국텍트로닉스(주) 계측기사업부 김규태 이사

전원 컨버터의 성능을 정확하고 통찰력있게 분석하기란 쉬운 일이 아니다. 본 글에서는 전원 동작, 전지 동작 및 DC-DC 전원 공급기를 설계하고 평가하는데 필요한 측정 기법을 몇 가지 예를 들어 소개하며 입력단과 스위칭 모드 컨버터 자체 그리고 부하 연결에서의 측정에 대해 살펴보고자 한다.

이를 위하여 먼저 적절한 기능을 제공하는 측정장비 세 가지를 소개하고자 한다.

첫째로 디지털 오실로스코프가 필요한데 전력전자 측정에 필요한 뛰어난 신호 포착능력과 분석 및 디스플레이 기능이 제공되어야 한다



CONTENTS

- 서론
- 저전류 측정
- 순시 AC 저항에 대한 측정
- 스위칭 리플과 라인 리플의 분리
- 부록
- 용어
- 측정의 최적화를 위한 유용한 지침

● 서론

전원 컨버터의 성능을 정확하고 통찰력있게 분석하기란 쉬운 일이 아니다. 본 글에서는 전원 동작, 전지 동작 및 DC-DC 전원 공급기를 설계하고 평가하는데 필요한 측정 기법을 몇 가지 예를 들어 소개하며 입력 단과 스위칭 모드 컨버터 자체 그리고 부하 연결에서의 측정에 대해 살펴보고자 한다.

이를위하여 먼저 적절한 기능을 제공하는 측정장비 세 가지를 소개하고자 한다.

첫째로 디지털 오실로스코프가 필요한데 전력전자 측정에 필요한 뛰어난 신호 포착능력과 분석 및 디스플레이 기능이 제공되어야 한다 이번 애플리케이션 노트에서는 특별히 TDS(텍트로닉스 디지털 오실로스코프의 약칭)를 중심으로 설명되었다.

두 번째 틀은 TCP202전류 프로브이다. 특히 편리한 클립은 형태의 프로브를 이용하면 DC 및 AC 전류 측정시 회로 연결을 단절하지 않아도 된다.

세 번째 틀은 P5205차동 프로브이다. 차동 프로브는 신호의 한 쪽이 접지되지 않은 플로팅 전압을 안전하게 프로빙할 수 있는 기능을 제공하여 스크프를 플로팅하는 기존의 위험한 관례를 제거하였다.

전류프로브가 DC를 측정할때나 또는 차동프로브를 사용하기 위해서는 디지털스코프가 자체적으로 이러한 능동프로브에 전원을 공급하는 기능이 있어야 하며 프로브 자체적으로도 넓은 다이내믹 레인지를 갖고 있어야 한다.

마지막으로 각 프로브의 측정단위가 자동으로 스크프의 디스플레이에 리드아웃될 수 있어야 하며 채널 간의 산술과정에서도 산술결과에 따른 적절한 측정단위로 리드아웃할 수 있는 기능이면 좀더 편리하게 아래와 같은 측정을 수행할 수 있겠다.

1. 저전류의 측정

문제 : 디지털 멀티미터는 정적인 측정 결과만을 제공하므로 그 유용성이 제한된다.

주요 TDS 기능 : Hi-Res 획득모드와 줌 기능 디스플레이

이점 : TCP202/TDS 조합의 안정성과 신호 처리 능

력은 저전류 다이내믹스의 특성화에 있어 새로운 방법을 제공한다.

휴대용 전자 장비의 전지 수명을 증가시키려면 부하 성분이 전류를 어떻게 소비하는지 알고 있어야 한다. 디지털 멀티미터를 이용한 마이크로암페어 단위의 전류 측정은 가능하나, 이는 전류 흐름에 대한 정상 상태 또는 DC 척도 이상은 제공하지 못한다. 부하가 액티브에서 셋다운 상태로 전환하는 동안 마이크로 전류 스위칭 특성은 어떻게 측정해야 할까?

TCP202는 이러한 애플리케이션에서 전류 측정의 감도를 증대시키기 위한 간단한 방법을 제공한다. 전류 프로브 주위로 전류의 검출 대상자인 도체를 감아(그림 1) 유효감도를 n배만큼 증가시킬 수 있다. 그림 2의 파형(화면 하단)은 TCP202의 최대감도인 10mA/div에서 측정된, 시계의 전지 전류 파형이다. 그러나 검출 대상 전류 도체는 전류 프로브 주위로 10번 감은 것이므로 실제의 감도는 10배인 1mA/div가 된다. TDS는 620 μ A의 체배된 평균 전류를 산출하는데 실제로는 62 μ A이다. 전류 펄스는 시계의 초바늘이 움직이는 1초마다 발생한다는 사실에 유의할 필요가 있다. 많은 멀티미터는 이러한 애플리케이션에 의미 있는 전류 측정 기능을 제공하지 못한다. 또한 TDS의 줌(zoom) 기능은 전류의 동적 특성이 나타나도록 펄스를 확장(상단 화면)할 수 있다. TDS는 상단 화면으로 확대된 파형 주위에 박스를 표시하게 된다.

이들 권고사항을 따라 결과를 곧바로 재현할 수 있다. TDS와 TCP202 증폭기의 우수한 안정성을 활용하는 경우이므로 양자가 교정되어 있으며 최적의 성능을 위한 충분한 예열시간을 가져야 한다. 피시험 회로에 전원을 인가하기 전에 TDS의 평균 측정 기능을 이용하여 피측정 전류의 평균값을 산출한다. 전류 프로브를 전선을 감은 루프에 연결한 상태에서 TCP202의 RC 레벨 조정 기능을 이용하여 평균 출력 전압에 대해 0mA로 영점을 조정한다. 마지막으로 이 멀티턴 기법이 신호와 함께 노이즈도 증폭하므로 파형의 필터링을 위해 TDS Hi-Res 획득 모드를 사용할 필요가 있다.

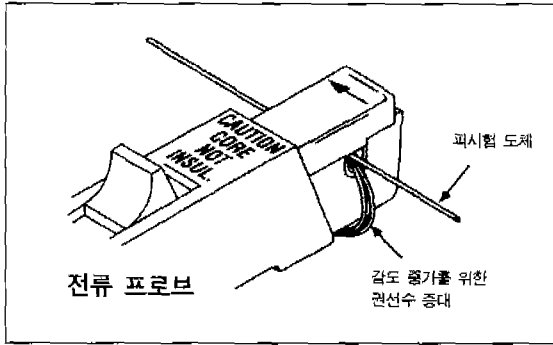


그림 1. 피검출 전류 도체를 전류 프로브 주위로 n회 감으면 유효 감도는 n배만큼 증가하게 된다.

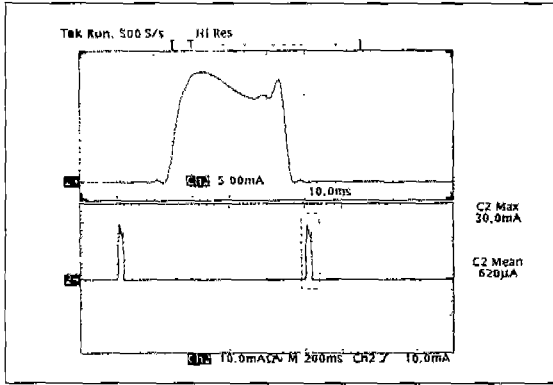


그림 2. TCP202

그림 2. TCP202는 10mA/div의 최대 감도로 설정되어 있지만 검출 대상 전류는 전류프로브 주위로 10번 감겨있기 때문에 20mA(피크)와 620µA(평균)의 TDS의 산출값은 10으로 나누어야 한다. 이벤트의 주기는 1초이므로 2초간의 기록 구간에 의해 정수개의 이벤트가 포착된다. 따라서 전체 기록 구간에 대한 평균 측정 기능은 평균 DC전류의 판정에 사용할 수 있다.

2. 순시 AC 저항의 측정

문제 : AC신호의 경우 해당 파라미터가 전원주기의 특정 부분에서만 측정가능한 경우가 많다. 연속적인 AC 파형의 여러 주기에 걸쳐 주기상의 위치에 의존하는 파라미터를 해석하는 일은 쉽지 않다.

주요 TDS의 기능 : 파형 분할, FastFrame 수집 및 게이트 측정.

이점 : FastFrame 수집 모드는 연속적인 주기에서 선택한 부분만 포착하는 방식으로 복잡한 AC 이벤트의 분석을 단순화한다.

일부 전력전자 소자에는 시변 저항의 특성이 있다. 예를 들어, 전류 제한 소자는 저항성 발열에 의해 온도의 변화에 따라 큰 저항 변동을 나타내도록 설계되어 있습니다. 변화에 관련된 시상수는 수 초 또는 1초 이하일 수 있다. 멀티미터의 경우는 전원이 인가된 회로에 대해 저항 측정을 할 수 없으므로 소용이 없다. 그리고 AC 전압과 전류를 별도로 측정하여 저항을 산출할 수 있지만 동적인 정보는 얻을 수 없다.

언뜻보아 기존의 디지털 스코프로도 문제를 해결할 수 있다고 생각할 수 있다. AC 전압과 AC 전류 파형을 포착하여 두 파형에 대한 나눗셈을 통해 순시 저항을 얻을 수 있다. 이는 가장 잘 알려진 시변 AC 저항인 백열등 필라멘트의 경우에 그림 3의 경우와 같다. 두 정현파 파형은 AC 전압(큰 값)과 AC 전류이며 TCP202는 1A/div로 설정되어 있다. 세 번째 파형은 TDS의 파형 분할 기능을 이용하여 산출된 순시 저항이다. 문제는 명백하게 나타나고 있다. AC파형의 제로 크로싱 지점에서 전류는 0이 된다. 즉, 하나의 주기마다 0에 의한 분할 문제가 발생하게 된다. 이 자체가 어떤 문제는 아니지만 해석이 훨씬 어려워진다. 이 경우에는 하나의 주기만을 관찰하지만 10개 주기를 포착했다면 디스플레이는 ±무한대로의 발산 지점으로 반향될 것이다.

TDS의 게이트 측정 기능은 관련 정보의 추출에 대한 가지 접근 방식을 제공한다. 전압 및 전류 파형을 수직 커서에 의해 정의된 사용자 설정 가능 구역 내에서 측정하도록 선택할 수 있다. 이 경우는 주기의 정극성 피크 부근에 있으며 구역내 평균전압(Ch1)은 162V 그리고 평균 전류(Ch2)는 694 mA이다. TDS7는 동일한 구역 내에서 파형 분할 결과의 평균값을 233ohm으로 산출한다. 물론 이 기능이 없어도 평균 전압을 전류로 나누면 같은 결과가 얻어진다.

그러나 이 약간 복잡한 과정은 TDS의 FastFrame 기

능에 의해 대폭 단순화된다. 목적은 정보가 유효할 경우에만 포착하는 데에 있음에 유의할 필요가 있다. 이 경우 전원 피크에서 전압, 전류와 저항 파형을 순간 포착하게 된다. 그림 4는 램프가 켜지는 동안의 결과이다. TDS는 전원 전압이 150V에 도달할 때 50us를 순간 포착하도록 되어 있다. 다음 정확히 1주기 또는 16.7 ms 이후에 샘플링이 디스에이블 된다. 이제 전압 파형은 약 150V의 직선으로 나타나게 된다. 포착된 전류파형은 처음 몇 주기에서 급변하며 642mA에서 안정화된다. 본 예에서 전압은 일정하므로 저항의 변화는 전류 파형에 반비례하며 10개 전원주기 내에 237ohm의 정상 상태값으로 안정화된다. 시동시의 파형에 대한 스크롤과 시간상 상이한 지점에서의 값을 측정하기 위해 여전히 TDS의 게이트 측정 기능을 이용할 수 있다. 물론 각각의 50us 전원 세그먼트 또는 프레임이 하나의 전원주기에 의해 분리됨에 유념할 필요가 있다.

FastFrame은 레코드 길이 제배 기능으로 볼 수도 있다. 전력전자의 경우 유용한 정보가 연속 또는 스위치 모드 주기의 잘 정의된 지점에서 발생하는 측정 애플리케이션이 많다. 디지털 스크프 메모리에 불필요한 정보를 채우지 않고 FastFrame을 이용하여 필요한 경우에만 파형 메모리를 인가할 수 있다. 스위치 모드 트랜지스터에서의 사이클별 순간 턴온 전력을 포함하여 FastFrame에 대해 더 자세한 정보가 필요한 경우 Tektronix 문서번호 55W-8861-0, "TDS를 위한 FastFrame Segmented Memory"를 참조하기 바란다.

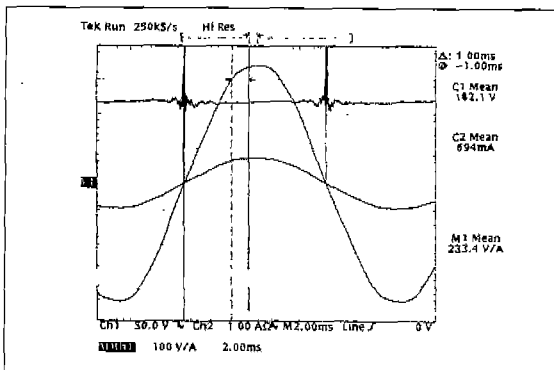


그림 3. 두 개의 정현파는 형광등 필라멘트의 전압과

전류이다. TCP202는 1A/DIV로 설정되어 있다. 세 번째 파형은 전압 파형을 전류 파형(눈금당 100V/A 또는 100ohm)으로 나눈 것이다. 제로크로싱 부근의 큰 값들은 0에 의한 계산의 결과이다. 커서들은 1.0ms의 게이트 측정 간격을 정의한다.

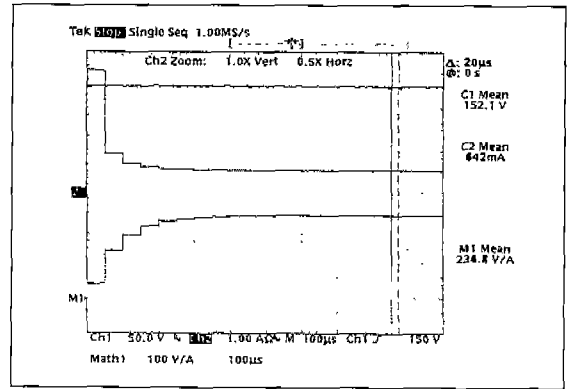


그림 4. FastFrame는 정극성 전원 피크에서 50개의 지점 세그먼트를 포착하도록 설정되었다. 각 세그먼트는 전원 전압이 150V에 도달할 때 시작하도록 설정되었다. 샘플링 속도가 1MS/s이므로 각 세그먼트는 전체 전원주기에서 50ms를 의미한다. 표시된 20개의 세그먼트는 총 1,000개의 지점을 요구하며 330ms 이상(20주기/60Hz)의 실시간 구간의 정보 부분을 의미한다. 동일한 정보를 FastFrame 없이 포착했다면 330,000포인트의 레코드 길이가 필요하였을 것이다.

3. 스위칭 리플과 전원 리플의 분리

문제 : 스위칭 컨버터의 출력 리플은 전원 리플 피드스루의 측정을 방해.

주요 TDS의 기능 : Hi-Res 획득모드

이점 : TDS의 Hi-Res 획득모드는 스위칭 리플을 감쇠하여 분리해 낸 리플을 계량화할 수 있다.

기존의 선형 컨버터에서의 출력 리플 측정은 단순하였는데 스크프를 전원 전압에 트리거하면 디스플레이가 전원 주파수 피드스루에 로크되기 때문이었다. 스위칭 컨버터의 경우는 컨버터의 출력이 스위칭 주파수 노이즈로 가득차기 때문에 이러한 측정의 방해받는다.

스위칭 주파수 리플의 측정은 비교적 간단한데, 출력 또는 스위칭 회로의 다른 노드에서 리플 전압을 곧바로 트리거할 수 있기 때문이다. 그러나 전원 주파수 리플의 측정은 별개의 문제이다. 저주파 리플이 오디오 또는 통신 애플리케이션에서 험(hum) 또는 인접 측파대를 발생시킬 수 있으므로 이것이 보다 중요한 측정일 수 있다.

그림 5의 상단 파형은 DC-DC 컨버터에 대한 120Hz 정류의 전원 주파수 리플이다. TDS는 이 신호의 피크 간 전압을 1.08V로 산출한다. 중간의 파형은 기존의 디지털 스코프 샘플링을 통해 얻어진 5V의 출력 전압 파형이다. 전원 리플을 관찰하는 데에 적합한 시간축에서 피크간 88mV의 50kHz 스위칭 노이즈가 디스플레이의 많은 부분을 점유하고 있다. 여기에는 120Hz 피드스루 전압에 대한 근거가 나타나지 않고 있다. 그러나 하단의 파형은 동일한 신호를 TDS의 Hi-Res 획득 모드를 이용하여 포착하는데 이는 보이지 않던 리플 성분을 나타나게 한다. 스위칭 노이즈는 차단되어 이제 120Hz의 리플을 측정할 수 있다. 피크간 피드스루는 6mV로 180대1 또는 45dB(즉, $20 \cdot \log(1.08V/6mV)$)의 감쇠를 의미한다. TDS의 Hi-Res 획득 모드는 전력 변환 측정에 있어 혁신을 의미하는데 20MHz의 기존 대역폭 한계를 넘는 신호 필터링 기능을 제공하기 때문이다. Hi-Res 획득 모드에 있어 의미있는 결과는 신호가 선택한 샘플링 속도와 연관되는 방법으로 저역 필터링되는 데에 있다. 그림 5에서 50kHz의 스위칭 노이즈를 수집하는 데에 50kS/s의 샘플링 속도는 분명히 부적절하다(중간 파형). 그러나 이는 120Hz 성분에 대해서는 적절한 속도이다(상단 파형). TDS는 결과를 표시하기 전에 디지털 처리를 이용하여 50kHz의 스위칭 성분을 제거한다(하단 파형).

이 애플리케이션에서 파형 애버리징 기능이 동작하지 않는 이유를 이해하는 것이 중요하다. 예를 들어, 스코프를 전원 전압에 트리거하여 획득모드를 전원 리플에 동기화시키고 다음 파형 애버리징 필터를 이네이블하여 스위칭 노이즈에 대한 필터링을 시도할 수 있을 것이다. 이론적으로는 스위칭 리플이 불규칙 잡음인 경우에는 이것이 동작할 것이다. 그러나 이는 스위칭 주파수에서의 리플 전압이다. 스위칭 주파수는

전원 주파수에 대해 비동기이므로 애버리징된 파형은 시간에 따라 변하는 특성과 함께 이상한 변조를 나타낼 것이다.

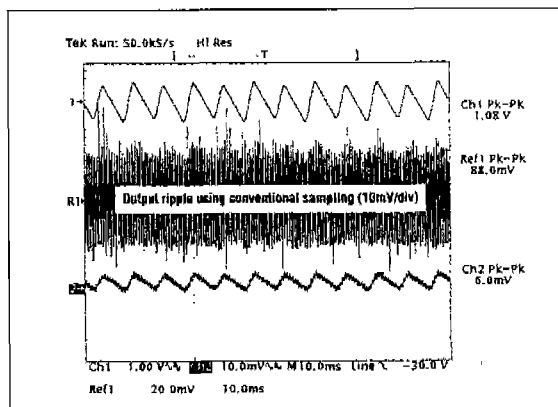


그림 5. 상단 파형은 DC-DC 컨버터에 대한 120Hz 입력 리플을 나타낸다. 중앙의 트레이스는 기존의 디지털 샘플링을 이용한 출력 리플을 보여주고 있다. 약 50kHz에서의 스위칭 주파수 노이즈가 파형을 지배하고 있다. 하단의 파형은 TDS의 Hi-Res 수집 모드를 이용하여 수집된 동일 파형이다. 스위칭 리플이 제거되어 120Hz 피드스루가 나타나게 된다.

● 용어

피상 전력 - RMS 전압과 RMS 전류의 곱을 Volt-Amps로 나타낸 것. 유효 전력에 대한 피상 전력의 비율이 역률이다.

파고율 - 신호의 RMS치에 대한 피크값의 비율. 순수한 정현파의 파고율은 2이다.

FastFrame - 복잡한 파형의 선택한 부분만 레코드 메모리에 저장할 수 있도록 하는, TDS 스코프의 파형 기록 기능. 이는 복잡한 파형에 대한 분석을 단순화하며 스코프의 유효한 레코드 길이를 증가시킨다. FastFrame은 특히, 전력전자의 경우 유용한데 중요한 측정이 전원선 또는 스위치 모드 주기의 고정된 지점에서 발생하는 경우가 많기 때문이다.

FFT - 고속 푸리에 변환. 시간 영역의 일련의 값들을 주파수 영역의 값들로 변환시키는 알고리즘. 이는 전원 신호의 고조파 성분을 산출하는 전력 측정 애플리케이션의 경우 특히 유용하다. 이에 대해서는 Tektr

onix 문서번호 55W-8815-0, FFT Applications for TDS를 참조하기 바란다.

Hi-Res 획득모드 - 내재적으로 저역 필터링을 제공하며 측정 분해능을 향상시킬 수 있는 TDS만의 샘플링 기법. 애플리케이션이 초당 10Megasample의 샘플링 속도를 요구하는 경우 TDS는 어쨌든 1Gsp/s의 최대 속도로 샘플을 취하여 100개의 샘플을 평균하여, 10Msp/s의 결과를 얻는다. 추가적인 99개의 샘플은 보다 높은 분해능을 결과한다. 이 수집 기법은 전력전자 애플리케이션에서 특히 유용하다. 먼저, 대부분의 애플리케이션들은 스코프의 최대 샘플링 속도를 요구하지 않아 Hi-Res는 보다 높은 분해능의 파형을 제공한다. TDS 제품군의 기본적인 8비트 분해능은 12비트 이상으로 증대시킬 수 있다. 둘째, 기존의 20MHz 대역폭 제한 기능은 전력 애플리케이션의 경우 충분치 못한 경우가 많다. Hi-Res 모드는 선택된 샘플링 속도의 함수인 저역필터를 제공한다. 롤오프는 단조성이 아니나 $(9\sin x)/x$ 함수를 따르므로 샘플링 속도의 10% 미만의 신호에 대해 2%(0.17dB) 이하의 감쇠를 제공한다. 3dB의 감쇠는 샘플링 속도의 약 45%에서 발생한다. 샘플링 속도의 3배에 대해 >20dB의 감쇠 그리고 샘플링 속도의 10배에서 >30dB의 감쇠가 발생한다.

순시 전력 - 특정 시점의 전압과 전류의 곱을 Watt 단위로 나타낸 것. 순시 전력은 음의 값일 수 있다. 디지털 스코프의 경우 순시 전력 파형은 각 전압 샘플에 전류 샘플을 곱하여 얻을 수 있다.

역률 - 피상 전력에 대한 유효 전력의 비. 역률은 0과 1 사이의 값을 취한다. 정현파 전압과 전류에 대해 역률은 두 파형간의 위상각의 역현값을 취한다.

RMS - root mean square값. AC 전압의 RMS값은 저항성 부하에 대해 동일한 발열을 결과하는, DC전압과 동가이다. 디지털 스코프는 사용자가 정의한 구간에 일련의 샘플의 RMS 값들을 산출한다. 먼저 모든 샘플값에 대해 제곱이 취해진다. 다음 이들 제곱값의 평균에 대한 제곱근이 산출된다. RMS는 항상 양의 값이다. 가장 흔한 RMS 측정은 전류와 전압에 대한 것이다.

유효 전력 - Watt 단위의, 순시 전력의 평균값. 디지털 스코프의 경우 이는 사용자가 정의한 구간에 대해

순시 전력 파형의 평균치를 취하는 방법으로 산출된다.

● 측정의 최적화를 위한 유용한 지침

TCP202 그리고/또는 P5205를 TDS 디지털 스코프와 사용하면서 가장 정확한 측정 결과를 얻으려면 다음 지침을 따라야 한다.

- 항상 고정된 계측기를 사용하며 이들이 충분한 예열시간을 거치도록 한다
- 매번 중요한 전류 측정을 실시하기 전에 TCP202 프로브에 대해 디가우스(degaussing)를 실시한다.
- P5205의 입력단자를 트위스트하여 공통 모드 신호에 대한 차단이 극대화되도록 한다. 입력단자를 트위스트하면 입력단자에 유입되는 노이즈의 차단과, 입력의 고주파 응답의 개선에 도움이 된다.
- 회로에 대한 프로브 임피던스의 효과를 주의깊게 관찰한다. TCP202는 전기적으로 절연된 상태에서 전류를 측정하는 클립은 프로브를 사용하지만 이는 피측정 회로에 대해서는 복소수 임피던스를 구성한다. 이와 마찬가지로 전압 프로브의 임피던스는 주파수에 따라 감소한다. Tektronix 프로브에 대한 데이터 시트들은 임피던스 대 주파수의 정보를 제공한다.
- 중요한 측정 이전에 TCP202의 0점 조정 컨트롤을 이용하여 DC 오프셋을 조정한다. 피시험 회로에 전류가 흐르지 않는 상태에서 TDS784D의 평균 측정 기능을 이용하여 TCP202의 출력 레벨을 측정한다. 영점 조정 컨트롤을 이용하여 측정된 레벨을 0V로 조정한다. 동일한 기법은 P5205에도 적용된다. 두 경우 모두 DC 오프셋 컨트롤은 프로브의 보상 박스에서 조정한다.
- 입력 레벨이 스코프와/또는 프로브의 측정 범위를 초과하지 않도록 한다. TDS는 신호들이 스코프 채널의 입력 범위를 초과할 경우 클리핑 메시지를 표시한다. 이 메시지가 표시되면 모든 자동 측정을 무시하도록 한다. P5205는 오버레인지가 검출될 경우를 위해 알람 인디케이터가 내장되어 있다.
- TCP202와 P5205의 삽입 지연 특성을 이해해야 한다. 전류 프로브 또는 차동 프로브와 스코프간에는 신호 지연이 있다. TCP202의 시간 지연은 17ns이다. P5205 시간 지연 역시 17ns이다. 그러나 일반적인 10X 수동 프로브의 시간 지연은 이보

다는 작다. 동일한 이벤트를 측정하도록 되어 있는 두 신호 채널간의 삽입 지연상의 차이는 표시되는 파형에 대해 시간적 스큐를 발생시킨다. 상대적 시간 지연이 전류 및 전압 파형의 전이 시간에 비해 큰 경우 순시 전력 파형의 산출에 에러가 발생할 수 있다. 이는 스위칭 전력 트랜지스터의 턴온 및 턴오프 손실을 산출할 경우 특히 중요하다. 이 경우 TDS의 내장된 파형 스큐제거 기능을 활용해야 하는 경우가 있다.

주: 이 애플리케이션 노트는 P5205 차동 프로브와 다음 오실로스코프를 사용하는 경우에 해당한다.

- TDS 3000B 시리즈
- TDS 5000B 시리즈
- TDS 6000B 시리즈
- TDS 7000B 시리즈

이 프로브를 Tektronix의 TDS가 아닌 여타의 스코프와 사용하는 경우 화면에 표시되는 값들은 올바르지 만 측정 단위는 A 대신에 V 그리고 W 대신에 VV로 나타날 수 있다.

● 관련 문헌

본 애플리케이션 노트에 언급된 제품과 측정에 관련된 추가 정보는 다음 문헌을 참조하십시오.

- A6905S 데이터시트, Tektronix 문헌번호 51W-8987-0.
- A6906S 데이터시트, Tektronix 문헌번호 51W-9086-0.
- A6907/A6900 데이터시트, Tektronix 문헌번호 51W-10376-0.
- ADA 400A 차동 프리앰프 데이터시트, Tektronix 문헌번호 60W-10387-1.
- "Differential Oscilloscope Measurements Application Note", Tektronix 문헌번호 51W-10540-0.
- "Floating Measurements Solution Guide", Tektronix 문헌번호 51W-10457-1.
- P5200 데이터 시트, Tektronix 문헌번호 51W-10388-1.

- P5205 데이터 시트, Tektronix 문헌번호 51W-10712-0.
- 전력전자 시스템 데이터시트, Tektronix 문헌번호 51W-10795-0.
- TCP202 데이터시트, Tektronix 문헌번호 51W-10736-0.

● 제품 사양

P5205 고압 차동 프로브.

P5205는 탁월한 차동 측정 기능을 제공하며 1300V까지의 플로팅 신호를 측정할 수 있다. 이 프로브는 스위칭 전원과 모터 드라이브에 대한 플로팅 측정에 최적이다.

P5205 기능

- 100MHz의 대역폭
- 1300V의 탭한 최대 전압
- (1000V 팁-대-접지
- 80dB CMRR@60Hz
- 17ns 전파 지연

TCP202 DC결합 전류 프로브

TCP202는 DC에서 50MHz까지 동시적인 AC/DC 측정 기능을 제공한다. 이 프로브의 정격은 500(10 Amp*sec)이며 스위칭 전원, 모터 컨트롤러, 기타 전력 변환 제품에서의 전류 측정에 유용하다.

TCP202 기능

- DC-50MHz의 대역폭
- 50A의 최대 펄스 전류
- 15A 최대 DC+피크 AC
- 교정기를 포함하여 1%의 정확도
- 17ns의 전파 지연 끝

시간의 걸음걸이에는 세 가지가 있다.
미래는 주저하면서 다가오고, 현재는 화살처럼 날아가고,
과거는 영원히 정지하고 있다. - F. 실러

가장 바쁜 사람이 가장 많은 시간을 갖는다.
부지런히 노력하는 사람이 결국 많은 대가를 얻는다.
- 알렉산드리아 피네