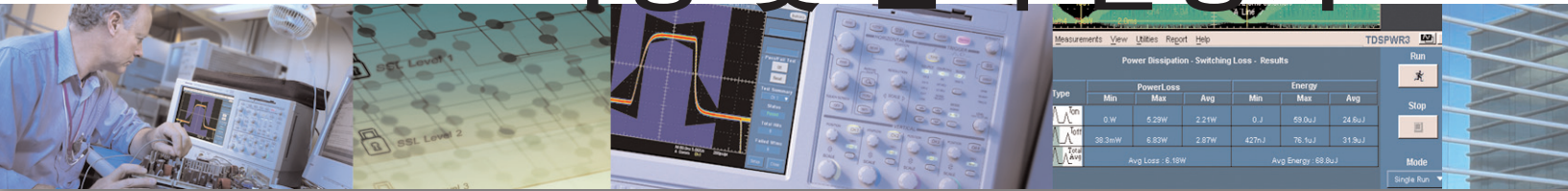


전 력

측정 및 분석 설명서



전력 측정 및 분석

▶ 설명서

목차

소개	3	패시브 요소 측정: 자기 장치	12 – 17
전력 공급기 설계 및 측정 사항에 대한 질문	3	인덕턴스 기본 사항	13
오실로스코프 및 전력 측정	3	오실로스코프를 통한 인덕턴스 측정	13
스위치 모드 전력 공급기 기본 사항	4	자기 전력 손실 기본 사항	13
전력 공급기 측정을 위한 준비 사항	4 – 8	오실로스코프를 통한 자기 전력 손실 측정	14
하나의 획득에 의한 100V 및 100mV 측정	5	자기 특성 기본 사항	15
전압 및 전류 프로브 사이의 지연 시간 제거	6	오실로스코프를 통한 자기 특성 측정	17
프로브 오프셋 및 노이즈 제거	7	전력 라인 측정	17
전력 측정시 레코드 길이의 역할	8	전력 품질 측정 기본 사항	18
유효 T_{on} 및 T_{off} 변환 식별	8	SMPS에서의 전력 품질 측정	18
액티브 요소 측정: 스위칭 요소	8 – 12	오실로스코프를 통한 전력 품질 측정	18 – 19
스위치 모드 장치의 전력 손실 이론	8	적절한 도구 사용	18
Turn-Off 손실	9	오실로스코프를 통한 전력 품질 측정	19
Turn-On 손실	10	결론	19
SMPS 전력 손실에 대한 자세한 관찰	10		
안전 작동 구역	11		
동적 On 저항	12		
di/dt	12		
dv/dt	12		

소개

전력 공급기는 일반적으로 교류(AC) 유틸리티 전원에서 직류(DC) 전원으로 변환하는 것과 같이 전력을 특정 형식에서 다른 형식으로 변환하는 구성 요소, 하위 시스템 또는 시스템입니다. 개인용 컴퓨터에서 군사 장비 및 산업용 기계 장비에 이르기까지 전자 장치의 적절한 운영은 DC 전력 공급기의 성능과 안정성에 의해 결정됩니다.

종류나 규모 면에서 전력 공급기는 기존의 아날로그 유형에서 고효율 스위치 모드 전력 공급기에 이르기까지 다양합니다. 이 모든 전력 공급기가 복잡한 동적 운영 환경에 직면해 있습니다. 장치 로드 및 요구 사항은 인스턴트의 변화에 따라 극적으로 변경될 수 있습니다. "가정용" 스위치 모드 전력 공급기까지도 평균 작동 수준을 훨씬 초과하는 급격한 피크를 견딜 수 있어야 합니다. 전력 공급기 또는 전력 공급기를 사용하는 시스템을 설계하는 엔지니어는 정지 상태에서 최악의 경우에 이르기까지 모든 조건에서의 공급기의 동작을 이해해야 합니다.

전통적으로 전력 공급기에 대한 일반적인 측정 방법은 디지털 멀티미터를 사용하여 정적 전류 및 전압을 측정하고 계산기 또는 PC에서 정확한 계산을 수행하는 것입니다. 오늘날 대부분의 엔지니어는 선호하는 전력 측정 플랫폼으로 오실로스코프를 선택합니다. 최신 오실로스코프는 설정이 간단하고 시간에 따른 측정이 용이한 통합 전력 측정 및 분석 소프트웨어를 설치할 수 있습니다. 사용자는 주요 매개 변수를 사용자 정의하고 계산을 자동화할 수 있으며 시간(초) 단위로 숫자 값을 포함하여 결과를 확인할 수 있습니다.

본 설명서는 오실로스코프 및 애플리케이션별 소프트웨어를 통한 스위치 모드 전력 공급기 설계 측정에 대해 중점적으로 설명합니다.

전력 공급기 설계 및 측정 요구 사항에 대한 질문

이론적으로는 모든 전력 공급기가 전력 공급기 설계에 사용되는 수학적 모델과 유사하게 작동합니다. 그러나 실제로는 구성 부품이 불완전하거나 로드가 변화하고 라인 전력이 왜곡될 수 있으며 환경 변화에 따라 성능에 영향을 끼칠 수 있습니다. 또한 성능 및 비용에 대한 요구 사항이 변경되면 전력 공급기 설계상 어려움에 직면합니다. 다음과 같은 질문에 대해 생각해 봅시다.

- ▶ 전력 공급기가 정격 용량을 초과하여 견딜 수 있는 최대 와트 및 시간은 어떻게 됩니까?
- ▶ 공급기가 방출하는 열, 과열될 경우 예상 결과 및 냉각 통풍량은 얼마나 필요합니까?
- ▶ 부하 전류가 급격하게 증가하면 어떤 현상이 발생합니까? 장치가 정격 출력 전압을 유지할 수 있습니까? 공급기가 출력 시 완전 단락에 대해 어떻게 반응합니까?
- ▶ 공급기 입력 전압이 변경되면 어떤 현상이 발생합니까?

설계자는 크기를 줄이면서 열을 적게 발생시키고 제조 비용을 절감하면서 엄격한 EMI/EMC 표준을 만족시키는 전력 공급기를 만들 것을 요구받습니다. 엔지니어가 이러한 목표를 달성하기 위해서는 엄격한 측정 시스템이 필요합니다.

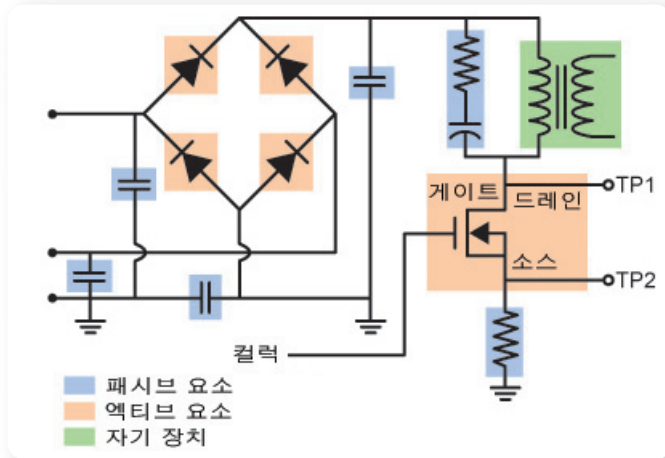
오실로스코프 및 전력 측정

오실로스코프를 통해 높은 대역폭 측정에 익숙한 사용자에게 상대적으로 낮은 주파수를 가진 전력 측정은 간단해 보일 수 있습니다. 그러나 실제로 이러한 전력 측정에도 고속 회로 디자이너가 경험하지 못한 여러 가지 과제가 있습니다.

스위칭 장치를 통과하는 전압이 매우 높고 "플로팅"하기 때문에 접지를 기준으로 하지 않습니다. 신호의 펄스 폭, 기간, 주파수 및 신호 듀티 사이클에 편차가 있습니다. 파형은 결함을 충실하게 포착하고 분석해야 합니다.

전력 측정 및 분석

▶ 설명서



▶ 그림 1. 스위치 모드 전력 공급기에 대한 간단한 회로도

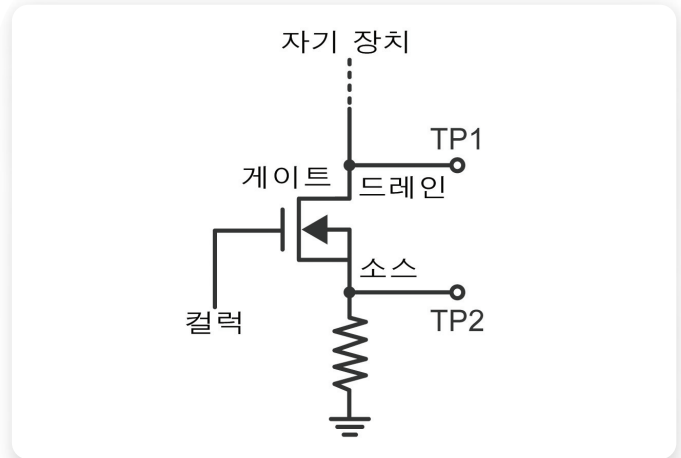
오실로스코프는 여러 가지 요구 사항을 필요로 합니다. 단일 종단, 차동 및 전류와 같은 여러 프로브 유형이 동시에 필요합니다. 장비는 길고 낮은 주파수 획득을 위한 레코드 길이를 제공하는 딥 메모리가 있어야 합니다. 하나의 획득을 통해 매우 다양한 스케일의 신호를 포착할 수 있어야 합니다.

스위칭 모드 전력 공급기 기본 사항

대부분의 최신 시스템에 적용되는 DC 전력 공급 아키텍처는 변경되는 로드를 효율적으로 처리할 수 있는 것으로 알려진 스위칭 모드 전력 공급기(SMPS)입니다. 일반적인 SMPS의 전력 "신호 경로"에는 파시브, 액티브 및 자기 요소가 포함됩니다. SMPS는 레지스터 및 선형 모드 트랜지스터와 같이 손실이 많은 구성 요소의 사용을 최소화하고 스위칭 모드 트랜지스터, 커패시터 및 자기 장치와 같은 이론적으로 손실이 거의 없는 구성 요소에 집중합니다.

또한 SMPS 장치는 펄스 폭 변조 레귤레이터, 펄스율 변조 레귤레이터 및 피드백 loops¹와 같은 요소를 포함하는 제어 부문이 포함되어 있습니다. 제어 부문은 자체 전력 공급기를 가지고 있습니다. 그림 1은 액티브, 파시브 및 자기 요소를 가진 전력 변환 부문을 표시한 간단한 SMPS 회로도를 나타냅니다.

¹ 본 설명서는 출력에 영향을 주는 내부 요소에 대한 테스트를 포함하여 전력 경로와 관련된 측정에 대해 설명합니다. 제어 부문 측정은 일반적인 파형 및 로직 기반 관찰 방법이며 본 설명서에서는 다루지 않습니다.



▶ 그림 2. 측정 지점을 표시한 MOSFET 스위칭 장치

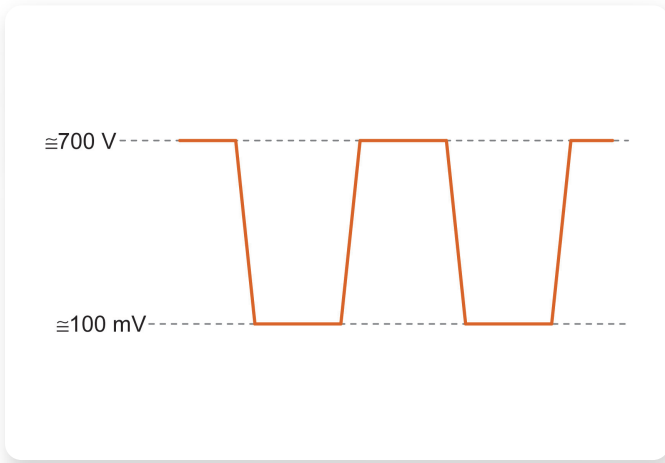
SMPS 기술은 MOS 전계 효과 트랜지스터(MOSFET) 및 절연 게이트 양극성 트랜지스터(IGBT)와 같은 전력 반도체 스위칭 장치에 적용됩니다. 이러한 장치는 빠른 스위칭 시간을 제공하며 불규칙한 전압 스파이크에도 견딜 수 있습니다. 또한 On 또는 Off 상태 모두에서 거의 전력을 방출하지 않기 때문에 저온 상태에서 높은 효율성을 발휘합니다. 대부분의 경우 스위칭 장치가 SMPS의 전반적인 성능을 결정합니다. 스위칭 장치의 주요 측정 기능으로는 스위칭 손실, 평균 전력 손실, 안전 작동 영역 등이 있습니다.

전력 공급기 측정을 위한 준비 사항

스위칭 모드 전력 공급기 측정을 준비할 때 작업을 수행할 수 있는 도구를 선택하고 이러한 도구가 정확하고 반복적으로 수행할 수 있도록 설정하는 것이 중요합니다.

물론 오실로스코프는 SMPS 내에서 스위칭 주파수를 처리하기 위한 기본 대역폭과 샘플 속도를 가져야 합니다. 전력 측정을 위해 최소 두 개의 채널이 필요하며 하나는 전압용, 다른 하나는 전류용입니다. 전력 측정을 보다 간편하고 안정되게 수행할 수 있는 설비도 필요합니다. 다음 사항에 대해서도 고려해야 합니다.

- ▶ 해당 장비가 동일한 획득에서 장치의 On 및 Off 전압 변환을 처리하기 위한 솔루션을 제공합니까? 이러한 신호는 100,000:1의 비율을 가질 수 있습니다.



▶ **그림 3.** SMPS 스위칭 장치를 통과하는 일반적인 전압 레벨

- ▶ 사용 가능한 전압 및 전류 프로브가 신뢰할 수 있고 정확합니까? 또한 이러한 프로브의 각기 다른 지연을 조정하기 위한 적절한 방법이 있습니까?
- ▶ 프로브에 존재하는 노이즈를 최소화하기 위한 효과적인 프로세스가 있습니까?
- ▶ 해당 장비는 빠른 샘플 속도에서 긴 주파수 파형 길이를 포착하기 충분한 레코드 길이를 장착할 수 있습니까?

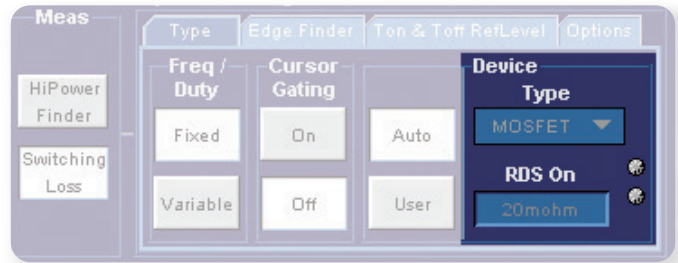
이러한 특성은 중요하고 효과적인 전력 공급 설계 측정의 기반이 됩니다.

하나의 획득에 의한 100V 및 100mV 측정

스위칭 장치 전반에 걸쳐 스위칭 손실 및 평균 전력 손실을 측정하려면 먼저 오실로스코프는 Off 및 On 상태에 대해 개별적으로 스위칭 장치를 통과하는 전압을 결정해야 합니다.

AC/DC 컨버터의 경우 스위칭 장치를 통과하는 전압은 상당히 높은 동적 범위를 가지고 있습니다. On 상태에서 스위칭 장치를 통과하는 전압은 스위칭 장치 유형에 따라 결정됩니다. 그림 2에서 설명한 MOSFET의 경우 On 전압은 채널 저항 및 전류의 곱입니다. BJT (Bipolar Junction Transistor) 및 IGBT 장치의 경우 전압은 주로 포화 전압 강하(V_{CEsat})에 기반합니다. Off 상태 전압은 작동 입력 전압과 스위치 모드 컨버터의 토폴로지에 따라 결정됩니다. 컴퓨팅 장비용으로 설계된 일반적인 DC 전력 공급기는 $80V_{rms}$ - $264V_{rms}$ 사이의 범용 유틸리티 전압 범위에서 작동합니다.

최대 입력 전압에서 스위칭 장치를 통과하는 Off 상태 전압 (TP1에서 TP2 사이)은 최대 750V입니다. On 상태에서 동일한 단자 사이를 통과하는 전압은 몇 mV에서 약 1V 사이의 범위입니다. 그림 3은 스위칭 장치의 일반적인 신호 특성을 보여줍니다.



▶ **그림 4.** 사용자가 데이터 시트의 R_{DSon} 또는 V_{CEsat} 값을 입력할 수 있는 TDSPWR3 입력 페이지

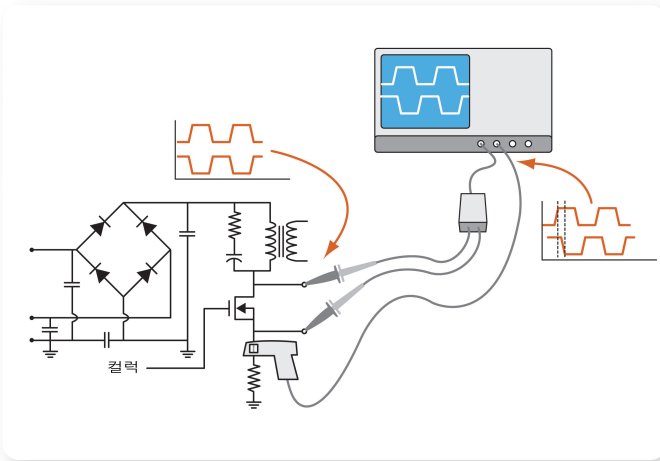
이러한 Off 및 On 전압은 스위칭 장치의 정확한 전력 측정을 위해 먼저 측정해야 합니다. 그러나 일반적인 8비트 디지털 오실로스코프는 Off 상태에서 발생하는 높은 전압뿐만 아니라 On 상태에서의 mV 범위 신호를 정확하게 획득하는 데 충분한 동적 범위(동일한 획득 주기 내)를 가지고 있지 않습니다.

이 신호를 포착하려면 오실로스코프의 수직 범위가 구간당 100V로 설정해야 합니다. 이렇게 설정하면 오실로스코프는 최대 1,000V의 전압을 수용하기 때문에 오실로스코프가 700V 신호를 무리 없이 획득할 수 있습니다. 이 설정을 사용할 경우 발생하는 문제는 최대 감도가 표시 가능한 최소 신호 진폭인 $1,000/256$ 또는 약 4V라는 점입니다.

Tektronix DPO는 장치 데이터 시트의 R_{DSon} 또는 V_{CEsat} 값을 그림 4에 표시된 측정 메뉴에 입력할 수 있는 TDSPWR3 애플리케이션 기능을 통해 이 문제를 해결합니다. 또 다른 방법으로 측정된 전압이 오실로스코프의 감도 범위 내에 있는 경우 TDSPWR3은 수동으로 입력한 값이 아닌 실제 획득한 데이터를 계산에 사용할 수 있습니다.

전력 측정 및 분석

▶ 설명서



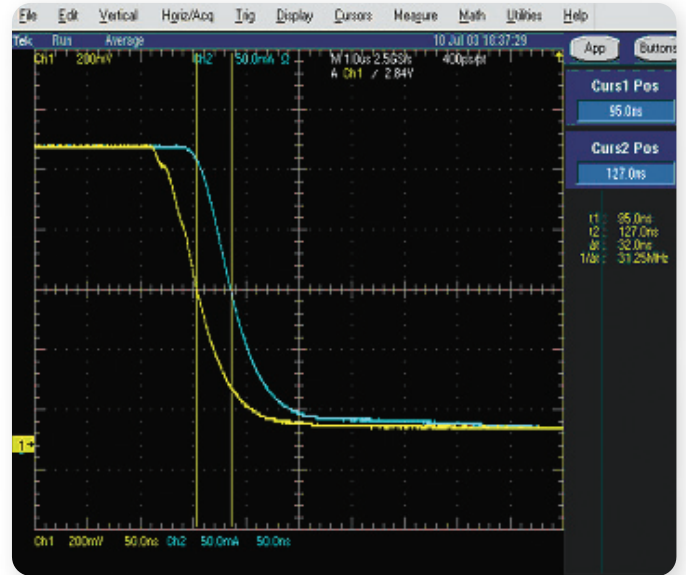
▶ 그림 5. 전력 측정 시 전파 지연 효과

전압 및 전류 프로브 사이의 지연 시간 제거

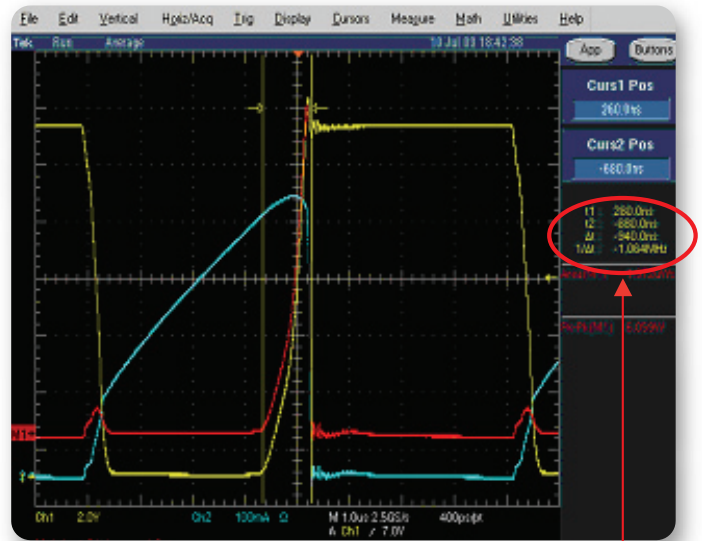
디지털 오실로스코프를 통해 전력을 측정하려면 MOSFET 스위칭 장치의 드레인-소스를 통과하는 전압 및 전류 (그림 2 참조) 또는 IGBT를 통과하는 컬렉터-대-이미터 전압을 측정해야 합니다. 이 작업을 위해 고전압 차동 프로브 및 전류 프로브가 필요합니다. 전류 프로브는 일반적으로 비간섭형 홀 효과 유형입니다. 이러한 프로브는 자체 고유의 전파 지연을 가지고 있습니다. 지연 시간으로 알려진 이 두 가지 지연의 차이는 부정확한 진폭 및 시간 관련 측정이 원인입니다.

최대 피크 전력 및 영역 측정에 대한 프로브 전파 지연의 영향을 이해하는 것이 중요합니다. 결과적으로, 전력은 전압 및 전류의 곱입니다. 곱셈에 의해 산출된 두 개의 변수가 완벽하게 맞지 않을 경우 결과는 잘못된 것입니다. 프로브가 제대로 "지연 시간 보정"되지 않는 경우 스위칭 손실과 같이 측정 정확성이 떨어집니다.

그림 5에 표시된 테스트 설정은 프로브 팁과 전파 지연 후 오실로스코프 전면 패널에서의 신호를 비교합니다.



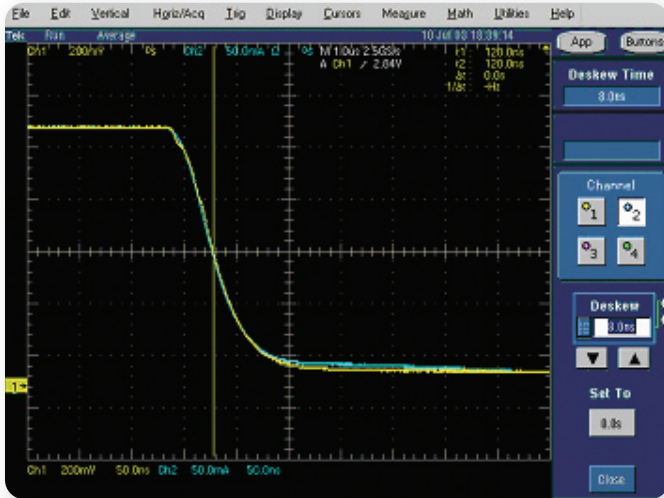
▶ 그림 6. 전압 및 전류 신호 사이의 지연 시간



▶ 그림 7. 6.059와트를 표시한 지연 시간을 가진 최고 진폭 및 영역 측정

6.059 watts

그림 6~9는 프로브의 지연 시간 효과를 설명한 오실로스코프 화면을 표시한 것입니다. DUT까지의 연결은 Tektronix P5205 1.3 kV 차동 프로브 및 TCP303 150A AC/DC 전류 프로브를 통해 연결되었습니다. "전압" 및 "전류" 신호는 보정 고정기에 의해 제공됩니다.



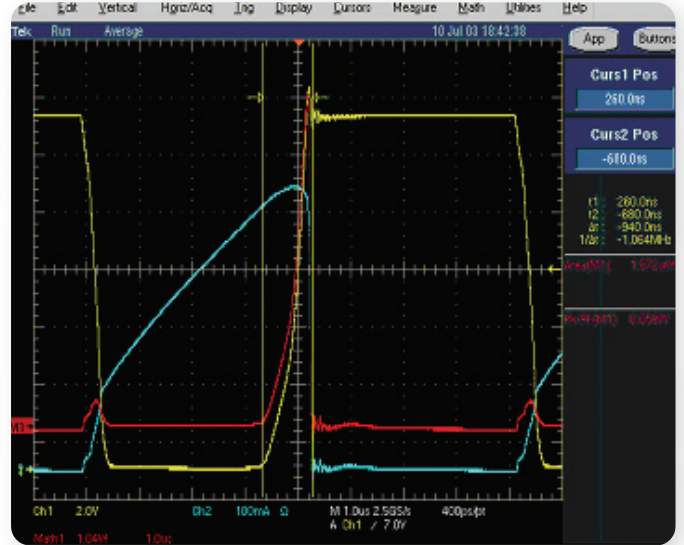
▶ 그림 8. 지연 시간 보정 후 전압 및 전류 신호

그림 6은 전압 및 전류 프로브 사이의 지연 시간을 표시한 것이며 그림 7은 두 개의 프로브가 처음으로 지연 시간 보정 없이 수행된 측정 결과(6.059와트)를 표시한 것입니다.

그림 8은 프로브의 지연 시간 보정 효과를 표시한 것입니다. 두 개의 파형은 겹쳐지면서 지연이 균일해지는 것을 표시합니다. 그림 9의 측정 결과는 적절한 지연 시간 보정의 중요성에 대해 설명합니다. 예에서 알 수 있듯이, 지연 시간으로 인해 거의 6%의 측정 오류가 발생했습니다. 지연 시간을 정확하게 보정하면 피크 대 피크 전력 손실 측정 오류를 줄일 수 있습니다.

TDSPWR3 전력 측정 소프트웨어는 선택한 프로브 조합의 지연 시간을 자동으로 보정합니다. 소프트웨어는 오실로스코프를 제어하고 활성 전류 및 전압 신호를 사용하여 전압 및 전류 채널 사이의 지연을 조정하여 전압 및 전류 프로브 사이의 전파 지연 차이를 제거합니다.

또한 특정 전압 및 전류 프로브가 일정하고 반복 가능한 전파 지연을 가지는 원리를 적용한 정적 지연 시간 보정 기능을 사용할 수 있습니다. 정적 지연 시간 보정 기능은 본 설명서를 통해 설명하는 Tektronix 프로브와 같이 선택한 프로브의 전파 시간 표를 기준으로 선택한 전압 및 전류 채널 사이의 지연을 조정합니다. 이 기법은 지연 시간 보정을 최소화하기 위한 신속하고 간단한 방법을 제공합니다.



▶ 그림 9. 지연 시간 보정 후 최고 전압 및 영역 측정. 이 결과를 그림7과 비교해 보십시오.

프로브 오프셋 및 노이즈 제거

차동 프로브는 전압이 약간 오프셋되는 경향이 있습니다. 이것은 정확성에 영향을 줄 수 있기 때문에 측정을 수행하기 전에 제거해야 합니다.

대부분의 차동 전압 프로브는 다음과 같이 준비 시간이 지난 후 상대적으로 간단한 절차를 통해 오프셋을 제거하는 DC 오프셋 트림 제어 기능이 내장되어 있습니다:

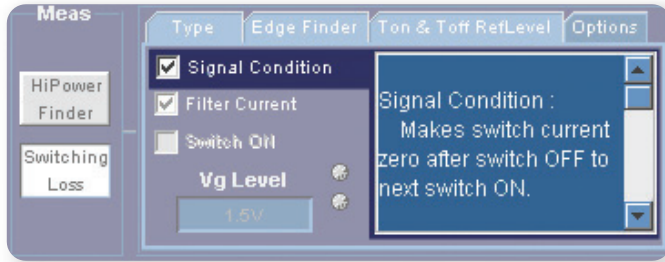
- ▶ 전압 파형에 대한 평균 값을 측정하도록 오실로스코프를 설정합니다.
- ▶ 실제 측정에 사용되는 감도(수직) 설정을 선택합니다.
- ▶ 신호가 없는 경우 트리머를 널로 조정하고 평균 레벨을 0V(또는 가능한 0V에 가깝게) 조정합니다.

마찬가지로 측정 전에 전류 프로브를 조정해야 합니다. Degaussing 후 다음 절차를 수행합니다:

- ▶ 실제 측정에 사용되는 감도로 오실로스코프를 설정합니다.
- ▶ 신호가 없는 상태에서 전류 프로브를 닫습니다.
- ▶ DC 밸런스를 널로 조정합니다.
- ▶ 평균 값을 0A 또는 가능한 0A에 가깝게 조정합니다.

전력 측정 및 분석

▶ 설명서



▶ **그림 10.** TDSPWR3 소프트웨어 메뉴의 신호 조건 조정 옵션. 이 메뉴를 선택하면 스위칭 장치가 "Off" 상태에 있는 동안 전류가 0으로 설정됩니다.

이러한 프로브는 활성 장치이기 때문에 항상 정지 상태에서도 일부 낮은 수준의 노이즈가 존재합니다. 이 노이즈는 전압 및 전류 파형 데이터를 통해 측정하는 경우 영향을 줄 수 있습니다. TDSPWR3 소프트웨어 패키지에는 존재하는 프로브 노이즈 영향을 최소화하는 신호 조건 조정 기능(그림 10)이 포함되어 있습니다.

전력 측정 시 레코드 길이의 역할

오실로스코프가 특정 기간 동안 이벤트를 포착하는 성능은 사용되는 샘플 속도 및 획득한 신호 샘플을 저장하는 메모리 용량(레코드 길이)에 따라 결정됩니다. 메모리는 샘플 속도에 직접적으로 비례하여 채워집니다. 샘플 속도가 신호에 대해 세부적인 고해상도 화면을 제공하기에 충분한 속도로 설정되어 있으면 메모리도 신속하게 채워집니다.

여러 SMPS 전력 측정의 경우 라인 주파수 신호의 1/4주기 또는 1/2주기(90도 또는 180도)를 포착해야 하며 일부 경우 전체 주기가 필요합니다. 대상은 라인 전압의 편차에 영향을 주는 계산을 지원하기 위해 충분한 신호 데이터를 누적해야 합니다.

Tektronix TDS5000B 시리즈 DPO는 최대 16,000,000 포인트의 메모리 용량으로 구성할 수 있습니다. 이 용량은 해당 샘플 속도에서 필요한 라인 주파수 신호 크기를 저장하기에 충분합니다.

유효 T_{on} 및 T_{off} 변환 식별

스위칭 변환 시 손실을 정확하게 파악하려면 먼저 스위칭 신호의 링잉을 필터링해야 합니다. On 또는 Off 변환 시 스위치 전압 신호의 링잉을 누락하기 쉽습니다. 이 높은 레벨의 링잉은 SMPS가 불연속 전류 모드(DCM) 및 연속 전류 모드(CCM) 사이에서 변환할 때 회로의 와류 요소에 의해 발생합니다.

그림 11은 스위칭 신호를 간단한 형태로 기호화한 것입니다. 링잉으로 인해 오실로스코프가 On 및 Off 변환을 식별하기 매우 어렵습니다.

한 가지 해결 방법은 그림 12에 표시된 것과 같이 에지 식별, 레퍼런스 레벨 및 히스테리시스 레벨에 대한 소스를 미리 정의하는 것입니다. 신호 복잡성 및 측정 요구 사항에 따라 측정된 신호 자체를 에지 레벨에 대한 소스로 사용할 수 있습니다. 일부 기타 명확한 신호를 지정할 수도 있습니다.

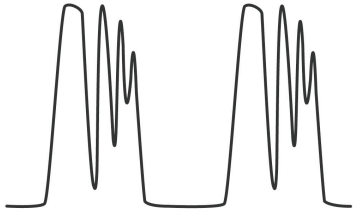
활성 전력 요소 보정 컨버터와 같은 일부 스위칭 전력 공급 설계에서는 링잉이 더 안 좋은 영향을 미칩니다. DCM 작동으로 스위치 커패시턴스가 필터 인덕터를 통해 공명하기 시작할 때 링잉이 상당히 증가합니다. 레퍼런스 레벨 및 히스테리시스 레벨을 설정하는 것만으로는 유효 변환을 완벽하게 식별할 수 없습니다.

이러한 경우 스위칭 장치의 게이트 드라이브 신호(그림 1 및 2에 표시된 클럭 신호와 동일)는 그림 13에 표시된 것과 같이 유효 On 및 Off 변환을 식별할 수 있습니다. 이는 게이트 드라이브 신호에 적합한 레퍼런스 레벨 및 히스테리시스 레벨을 설정하기만 하면 가능합니다.

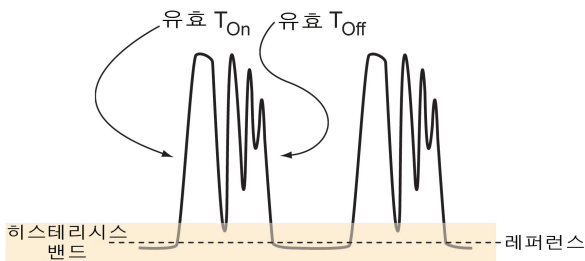
액티브 요소 측정: 스위칭 요소

스위치 모드 장치의 전력 손실 이론

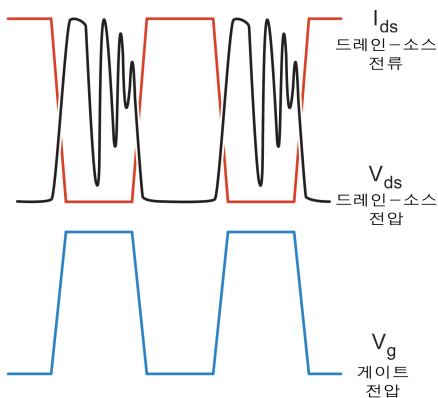
트랜지스터 스위치 회로는 다이오드에 저장된 전하의 방출과 스위칭 시간 동안 와류 인덕턴스 및 커패시턴스에 있는 에너지 방출로 인해 변환하는 동안 에너지가 손실됩니다. "Turn-On 손실"은 스위칭 장치가 Off에서 On으로 변환될 때 손실되는 에너지를 의미합니다. "Turn-Off 손실"은 스위칭 장치가 On에서 Off로 변환될 때 손실되는 에너지를 의미합니다.



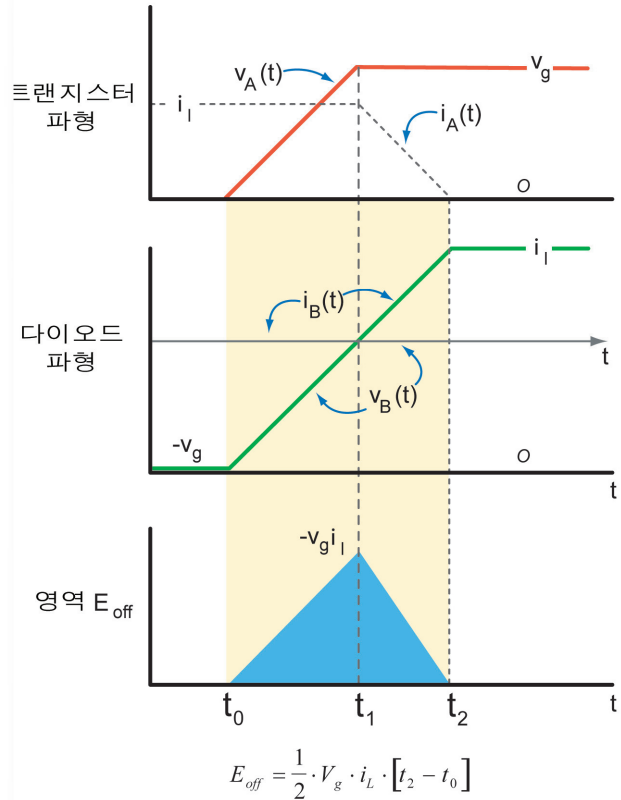
▶ 그림 11. 스위칭 장치의 일반적인 신호 특성



▶ 그림 12. 이 신호 특성에 대한 일반적인 참조 레벨 및 이력 현상 레벨



▶ 그림 13. T_{on} 및 T_{off} 변환을 식별하기 위해 사용되는 게이트 신호 V_g .



▶ 그림 14. Turn-Off 손실 계산

Turn-Off 손실

그림 14는 Turn-Off 손실 계산을 그래프로 표시한 것입니다.

t_1 이후 스위치 전류는 다이오드 전류가 상승하면서 떨어집니다. 시간 $(t_2 - t_1)$ 은 드라이버가 MOSFET의 게이트-드레인 커패시턴스 C_{gd} 를 얼마나 신속하게 충전할 수 있는지에 따라 달라집니다.

변환하는 동안 에너지 손실은 다음과 같은 방정식으로 표현됩니다:

$$E_{off} = \frac{1}{2} \cdot V_g \cdot i_L \cdot [t_2 - t_0]$$

이 공식은 C_{ds} (드레인에서 소스까지의 커패시턴스) 및 C_{gd} 를 통과하는 전압이 선형적으로 상승하는 것으로 가정합니다. C_{gd} 및 C_{ds} 는 와류 커패시턴스입니다.

전력 측정 및 분석

▶ 설명서

실제 장치의 경우 커패시턴스 C_{gd} 및 C_{ds} 는 상당히 비선형적이며 드레인-소스 전압에 따라 변화하는 경향이 있습니다. 이러한 현상을 어느 정도 해결하기 위해 이론적인 계산만 표시됩니다. IGBT의 경우 전류 하강 시간은 "꼬리 전류" 현상으로 인해 더 빠릅니다. 이러한 차이는 전압 편차의 실제 프로파일을 포착하는 데 매우 중요합니다. 전력 측정 전용 소프트웨어를 가진 오실로스코프는 이러한 측정을 상당히 단순화할 수 있습니다.

Turn-On 손실

그림 15는 클램핑된 유도 로드 및 다이오드 복구 충전 상태에서 MOSFET의 활성화 손실을 표시합니다.

MOSFET가 클램핑된 유도 로드 상태에서 활성화되면 다이오드 전압은 저장된 전하가 복구될 때까지 생성되지 못합니다. 따라서 다이오드는 전압을 차단할 때까지 음의 방향으로 전류를 계속 유도합니다. 이로 인해 스위치에 상당한 손실이 발생합니다. 역방향 복구 전류는 다이오드 경로에서 외부 회로에 의해 결정됩니다. 다이오드의 전하 전달 전류와 다이오드의 Off 변환 시 하강 전류의 di/dt 에 의해 결정됩니다.

전체 손실은 스위치의 평균 전력 손실입니다.

이 손실에는 스위칭 손실 및 유도 손실이 포함됩니다.

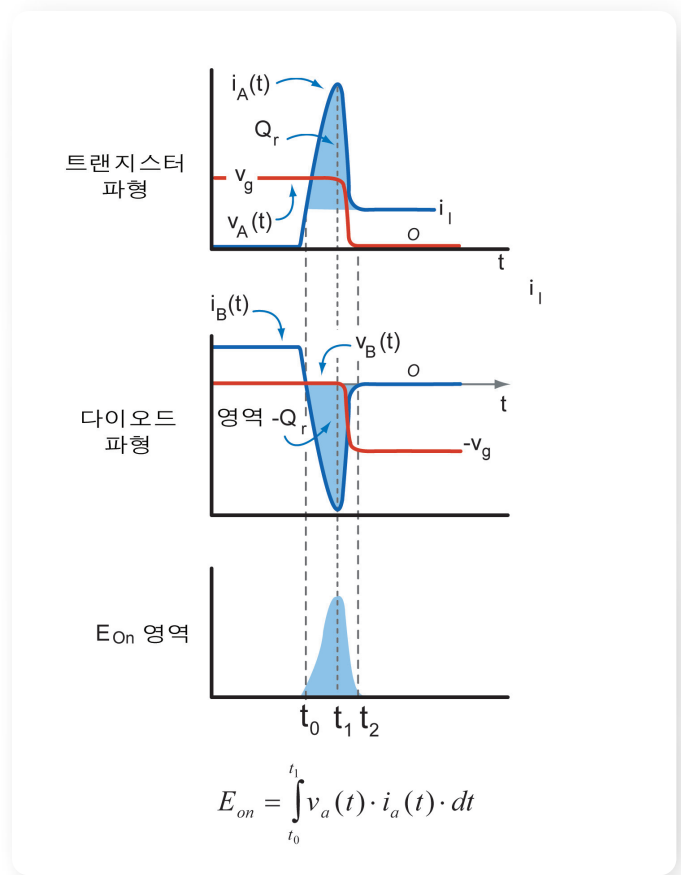
전체 손실은 다음 공식으로 표현됩니다.

$$P_{Loss} = \frac{1}{T_S} \cdot \int_0^{T_S} V_{switch}(t) \cdot I_{switch}(t) \cdot dt$$

여기서 $V_{Switch}(t)$ 및 $I_{Switch}(t)$ 는 스위치 전체의 순간 전압 및 스위치를 통해 흐르는 전류입니다.

SMPS 전력 손실에 대한 자세한 관찰

불연속 전류 모드에서 사용하는 "플라이백" 토폴로지는 최대 150W의 정격 출력을 가진 여러 스위치 모드 전력 공급기에서는 일반적입니다. 플라이백 컨버터는 인덕터에 출력 로드 에너지를 저장하고 또한 입력/출력 절연을 제공합니다. 스위칭 장치가 On일 때 전류는 인덕터와 스위칭 장치 사이에서 이동하기 때문에 스위칭 장치에서 상당한 손실이 발생합니다. 그림 16은 플라이백 토폴로지가 내장된 SMPS 장치에서 일반적으로 나타나는 스위칭 장치 신호 특성을 설명합니다.



▶ 그림 15. 클램핑된 유도 로드 2 상태에서 MOSFET의 활성화 손실

이 예의 경우 TDSPWR3 전력 측정 애플리케이션을 사용하는 것으로 가정합니다. 애플리케이션을 사용하면 사용자가 전압 매개 변수와 필터 설정이 DUT 요구 사항과 일치하도록 직접 입력할 수 있습니다.

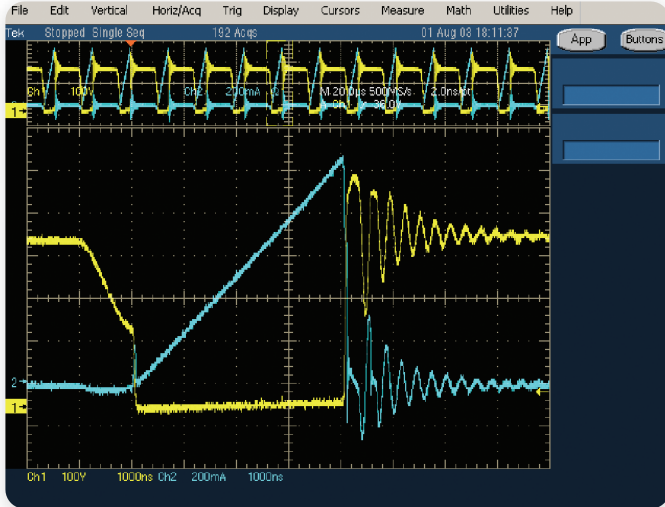
안정되고 정확한 측정은 스위칭 전압 신호 내에서 유효 T_{on} 및 T_{off} 에지를 찾기 위한 참조 레벨 정의와 함께 시작합니다. 이 예에서 참조 레벨은 약 150V에서 설정되고 이력 현상은 25V에서 설정됩니다.

150V에서 T_{on} 및 T_{off} 변환을 쉽게 식별할 수 있습니다. 또한 150V 레벨에서 모든 링잉은 제외됩니다.

앞에서 설명한 것처럼 오실로스코프의 수직 범위는 스위칭 전압 파형을 포착하기 위해 100V/div로 설정됩니다.

이처럼 상당히 높은 설정에서는 디지털 오실로스코프의 동적 범위가 동일한 신호에서 표시되는 포화 전압을 표시하는 데 충분하지 않습니다. 여기서는 TDSPWR3 사용자 입력 기능이 유용합니다.

² 콜로라도 대학의 Robert A. Erickson이 작성한 "전기 전자 장치의 기본 원리" 프레젠테이션에서 발췌하여 단순화한 그림.



▶ 그림 16. 플라이백 토폴로지에서 스위칭 장치의 일반적인 신호 특성.

MOSFET의 $R_{DS(on)}$ 또는 BJT/IGBT의 $V_{CE(sat)}$ 은 스위칭 장치의 데이터 시트에서 가져와서 직접 입력할 수 있습니다. 애플리케이션은 해당 값을 사용하여 전체 손실을 계산합니다.

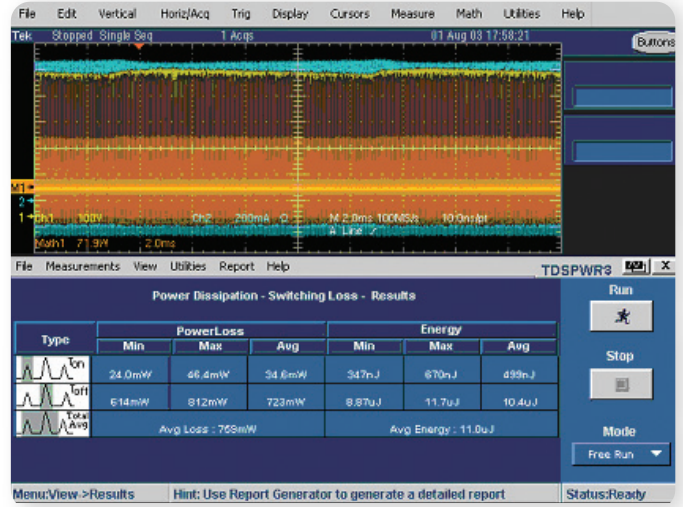
스위칭 신호의 Off 단계에서 링잉 및 노이즈를 볼 수 있습니다. 이러한 효과는 당연히 최소화되어야 합니다. 다시 말하지만 TDSWPWR3은 이 문제에 대해 솔루션을 가지고 있습니다. 신호 조정 및 평활화(필터) 기능을 통해 노이즈 영향을 최소화하고 측정 정확성을 높입니다.

그림 17은 TDSWPWR3을 통해 자동으로 계산된 전력 손실 측정 결과를 표시합니다.

정확한 결과를 위해 측정은 가능한 측정된 신호에 대한 하나의 완전한 전력 라인 주기를 포함하도록 합니다. 또한 측정된 신호가 최소 6개의 디비전을 포함하도록 수직 전압 및 전류 신호 모두는 수직 범위 설정에 의해 획득해야 합니다. 이를 통해 오실로스코프 아날로그-디지털 컨버터(ADC)의 동적 범위를 가장 적절하게 표현할 수 있습니다.

안전 작동 구역

스위칭 장치에서의 안전 작동 구역(SOA) 측정을 통해 전압 대 전류 관계를 표시하여 장치의 작동 구역을 특성화합니다. 전력 공급기에서 발생할 수 있는 다양한 작동 조건에 대해 SOA 플롯을 작성하는 데 유용합니다.



▶ 그림 17. 스위칭 장치의 전력 손실 측정 결과.

스위칭 장치 제조 업체의 데이터 시트에 스위칭 장치에 대한 특정 제한 사항이 요약되어 있습니다. 목표는 최종 사용자 환경에서 전력 공급기가 적응해야 하는 작동 한계를 스위칭 장치가 견딜 수 있는 것입니다. SOA 테스트 변수에는 다양한 로드 시나리오, 작동 온도 편차, 높고 낮은 라인 입력 전압 등이 있습니다.

SOA 테스트는 일반적으로 다음 방정식을 사용하여 전력 값을 계산합니다:

$$P_n = V_n I_n$$

여기서,

- ▶ P_n 은 순간 전력 값
- ▶ V_n 은 전압 값
- ▶ I_n 은 전류 값
- ▶ n 은 특정 지점에서의 샘플

다음 방정식은 평균 전력을 계산합니다:

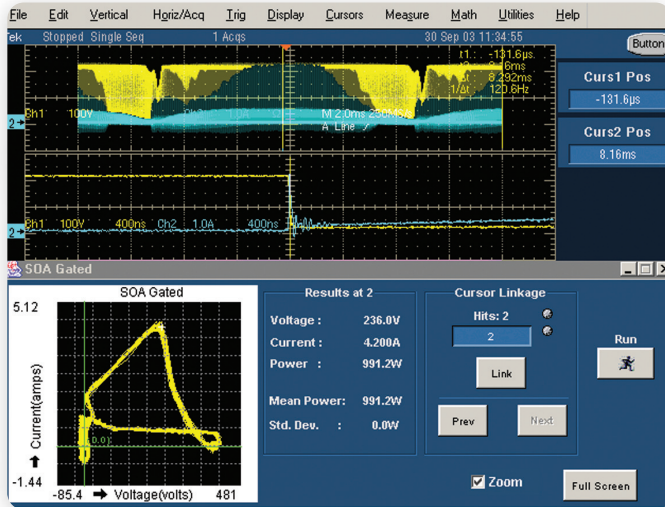
$$P_{Avg} = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{n=N} V_n I_n$$

여기서,

- ▶ N 은 플롯에서 동일한 값을 가진 샘플 수

전력 측정 및 분석

▶ 설명서



▶ **그림 18.** TDSWPWR3을 통해 활성 전력 계수 보정 전력 공급기의 SOA 플롯을 표시한 예. 플롯을 스위칭 장치 제조 업체가 제공하는 데이터와 비교할 수 있습니다.

그림 18은 TDSWPWR3 애플리케이션을 통해 구성된 SOA 플롯입니다.

동적 On 저항

동적 On 저항은 스위칭 장치가 On 상태에 있을 때 스위칭 장치에 의해 발생하는 저항입니다. 경우에 따라서는 스위칭 장치 제조 업체의 데이터 시트를 기준으로 $R_{DS(on)}$ 값을 수정하는 것이 바람직합니다. 이렇게 하면 신호 동적 범위가 초과할 때 보다 정확하게 전력 손실을 측정하는 데 도움을 줄 수 있습니다(앞서 설명한 전력 손실 측정 참조).

di/dt

di/dt 측정은 스위칭 동안 전류가 변화하는 비율을 의미합니다. 다음 방정식을 통해 di/dt 값을 계산합니다:

$$\frac{di}{dt} = \frac{\sum (x_2 - \bar{x}_I) \times (y_I - \bar{y}_I)}{\sum (x_I - \bar{x}_I)^2}$$

여기서,

- ▶ X = 타이밍 값
- ▶ Y = 파형 데이터의 수직 값
- ▶ "d" 또는 델타 용어는 변수를 기호화한 것이며 "di"는 변화하는 전류를 의미

dv/dt

di/dt는 스위칭 동안 전압이 변화하는 비율을 의미합니다. 다음 방정식을 통해 dv/dt 값을 계산합니다:

$$\frac{dv}{dt} = \frac{\sum (x_2 - \bar{x}_I) \times (y_I - \bar{y}_I)}{\sum (x_I - \bar{x}_I)^2}$$

여기서,

- ▶ X = 타이밍 값
- ▶ Y = 커서 사이에서 파형 데이터의 수직(전압) 값

패시브 요소 측정: 자기 장치

패시브 요소는 신호를 증폭 또는 변환하지 않는 요소입니다. 전력 공급기에는 레지스터 및 커패시터와 같은 완벽한 패시브 요소가 포함되어 있지만 측정 측면에서 볼 때 핵심 사항은 인덕터 및 트랜스포머를 포함하여 자기 구성 부품("자기 장치")입니다. 인덕터 및 트랜스포머는 구리 선으로 여러 번 감싼 강철 코어로 구성되어 있습니다.

인덕터는 고주파 신호에 대해 높은 임피던스를 찾으며

이를 통해 인덕터는 전력 공급기 입력 및 출력에서 필터링하는 데 유용합니다.

트랜스포머는 1차 코일에서 2차 코일로 전압 및 전류를 전송하여 신호 레벨을 상승 또는 하강시킵니다(개별 전압 또는 전류에 대해). 따라서 트랜스포머는 1차 코일에서 120V를 공급 받고 2차 코일의 전류가 상승함에 따라 2차 코일의 전압은 12V까지 단계적으로 하강합니다. 여기서는 신호의 순 전력이 상승하지 않기 때문에 "증폭"은 고려하지 않습니다. 트랜스포머의 1차 및 2차 코일이 전기적으로 연결되어 있지 않기 때문에 회로 요소 사이의 차단을 위해 사용하기도 합니다.

전력 공급 성능을 결정하는 데 도움을 주는 일부 측정은 다음과 같습니다.:

- ▶ 인덕턴스
- ▶ 전력 손실(자기 장치)
- ▶ 자기 특성

인덕턴스 기본 사항

전력 공급기는 에너지 저장 장치, 필터 또는 변환기로 인덕터를 사용합니다. 트랜스포머로서 인덕터는 스위치 모드 전력 시스템의 발전을 방지하는데 도움을 줍니다. 설계자는 작동 조건 하에서 이 장치의 작동을 모니터링해야 합니다. 인덕턴스 값은 전류 및 전압 소스, 여자 신호, 파형 및 작동 주파수에 따라 달라집니다.

인덕턴스는 다음과 같이 정의됩니다.:

$$L = \frac{\int -e dt}{I} \text{ Henry}$$

여기서,

- ▶ L 은 인덕턴스
- ▶ e 는 인덕터를 통과하는 전압
- ▶ I 는 인덕터를 통과하는 전류
- ▶ dt 는 신호 변화율, 즉 회전율

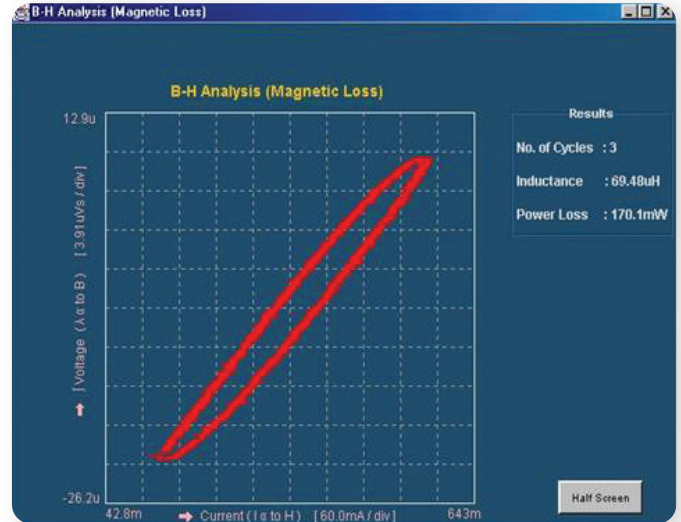
여러 가지 종류의 사용 가능한 인덕턴스 측정 장비가 있습니다. 전통적으로 이러한 장비는 알려진 여자(자극) 신호에 따라 인덕터의 인덕턴스를 측정합니다.

예를 들어 LCR 미터는 내장된 신호 발생기를 사용하여 테스트 중에 인덕터를 자극한 다음 브리지 밸런싱 기술을 사용하여 장치의 임피던스를 측정합니다. LCR 미터는 사인파를 신호 소스로 사용합니다.

그러나 실제 전력 공급기의 경우 신호는 고전압, 고전류의 구형파입니다. 따라서 대부분의 전력 공급 설계자는 전력 공급기의 동적으로 변화하는 환경에서 인덕터의 작동을 관찰하여 보다 정확한 상태를 확인하려 합니다.

오실로스코프를 통한 인덕턴스 측정

"실제" 전력 공급기에서 인덕터 측정에 가장 적절한 도구는 TDSPWR3 전력 측정 소프트웨어가 설치된 Tektronix TDS5000B 시리즈 DPO와 같은 오실로스코프입니다. 인덕턴스 측정 자체는 앞서 설명한 스위칭 장치 측정과 거의 유사하며, 자기 구성 부품을 통과하는 전압 및 전류를 프로빙하는 만큼이나 간단합니다.



▶ 그림 19. TDSPWR3 애플리케이션 소프트웨어에 의해 계산된 인덕턴스 측정 결과.

그림 19는 이러한 인덕턴스 측정 결과를 표시합니다. 여기서 소프트웨어는 인덕턴스를 69.48microhenry로 계산했습니다.

자기 전력 손실 기본 사항

자기 전력 손실은 전력 공급기의 효율성, 안정성 및 열 전도 성능에 영향을 줍니다. 코어 손실 및 구리 선 손실이라는 두 가지 종류의 전력 손실은 자기 요소와 관계 있습니다.

코어 손실: 코어 손실은 이력 현상 손실과 와류 손실로 구성됩니다. 이력 현상 손실은 작동 주파수와 AC 플럭스 스윙 사이의 함수 관계입니다. DC 플럭스와는 거의 관계가 없습니다. 단위 체적당 이력 현상 손실은 다음 방정식으로 표현됩니다. :

$$P_{Hyst} = \int H \cdot dB$$

여기서,

- ▶ P_{Hyst} 는 단위 체적당 이력 현상 손실입니다.
- ▶ H 는 자계 강도입니다.
- ▶ B 는 플럭스 밀도입니다.

그림 20에 표시된 것과 같이 코어 제조 업체의 데이터 시트를 사용하여 코어 손실을 계산할 수 있습니다. 여기 예의 경우, 제조 업체는 I 및 III 분기 작동에서 사인 여자에 대한 손실이 있는 것으로 지정했습니다. 또한 제조 업체는 다른 AC 플럭스 밀도 및 주파수에서 코어 손실을 계산하기 위해 경험적 관계식을 지정합니다.

전력 측정 및 분석

▶ 설명서

구리 선 손실: 구리 선 손실은 구리 코일 선의 저항으로 인해 발생합니다. 구리 선 손실은 다음 공식으로 표현됩니다:

$$P_{cu} = I_{rms}^2 \cdot R_{wdg}$$

여기서,

- ▶ P_{cu} 는 구리 선 손실을 의미합니다.
- ▶ I_{rms} 는 자기 구성 부품을 통과하는 rms 전류입니다.
- ▶ R_{wdg} 는 코일 저항입니다. 이 저항은 DC 저항, 스킨 효과 및 근접 효과에 따라 달라집니다.

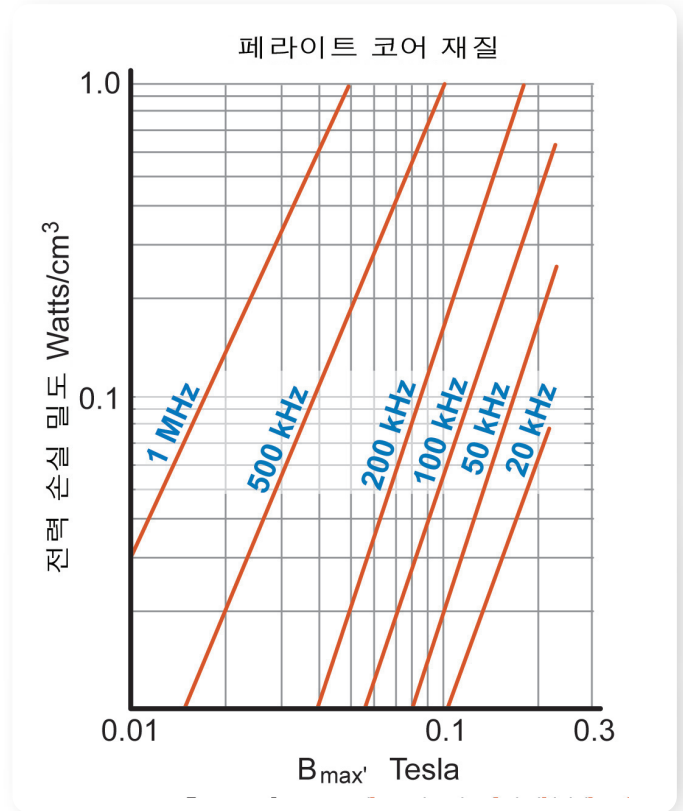
오실로스코프를 통한 자기 전력 손실 측정

전체 전력 손실 및 코어 손실은 코어 판매업체의 데이터 시트 정보 및 전력 측정 소프트웨어를 실행하는 오실로스코프 결과를 사용하여 신속하게 산출할 수 있습니다. 두 가지 값을 사용하여 구리 선 손실을 계산합니다. 다른 전력 손실 요소를 알고 있는 경우 자기 구성 부품의 전력 손실 원인을 파악할 수 있습니다.

자기 구성 부품 전력 손실을 계산하는 방법은 측정 대상 구성 부품의 종류에 따라 결정됩니다. 테스트 대상 장치에는 단일 코일 인덕터, 다중 코일 인덕터 또는 변환기가 포함됩니다. 그림 21은 TDSPWR3 소프트웨어를 사용하여 단일 코일 인덕터의 측정 결과를 표시합니다.

채널 1(노란색 영역)은 인덕터 전반에 걸친 전압이고 채널 2(파란색 영역)는 인덕터를 통과하는 전류를 비간섭 전류 프로브로 측정한 것입니다. TDSPWR3 패키지는 자동으로 계산하여 전력 손실 값을 표시하며 여기서는 173.95밀리와트로 표시됩니다.

TDSPWR3 패키지는 비주기적 파형 또는 "버스트" 신호 특성을 보여 주기 위해 게이트된 측정을 제공합니다. 활성 전력 계수 제어(PFC)를 통해 장치의 인덕터에 대한 일반적인 신호 시나리오는 그림 22와 같이 표시되며 게이트된 측정 결과를 나타냅니다.



▶ **그림 20.** 여러 스위칭 주파수의 코어 손실 및 플럭스 밀도 플롯.

다중 코일 인덕터의 경우 약간 다른 접근 방식이 필요합니다. 전체 전력 손실은 개별 코일의 손실 합계입니다:

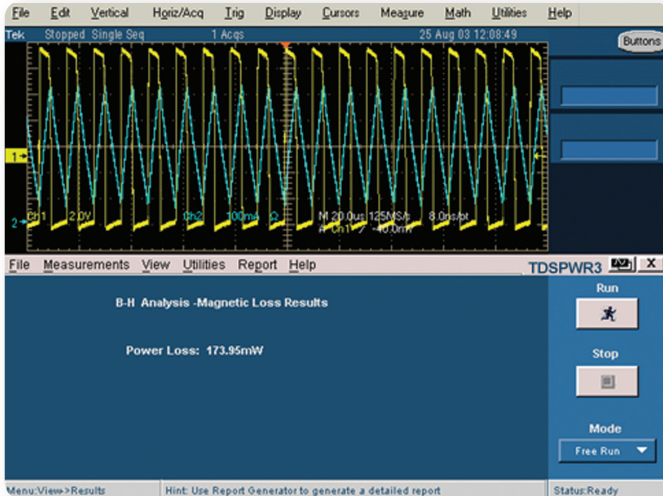
$$TotalPowerLoss = PowerLoss_{L1} + PowerLoss_{L2} + PowerLoss_{L3} + \dots$$

변환기의 전력 손실 계산을 추가하면 공식은 다음과 같습니다:

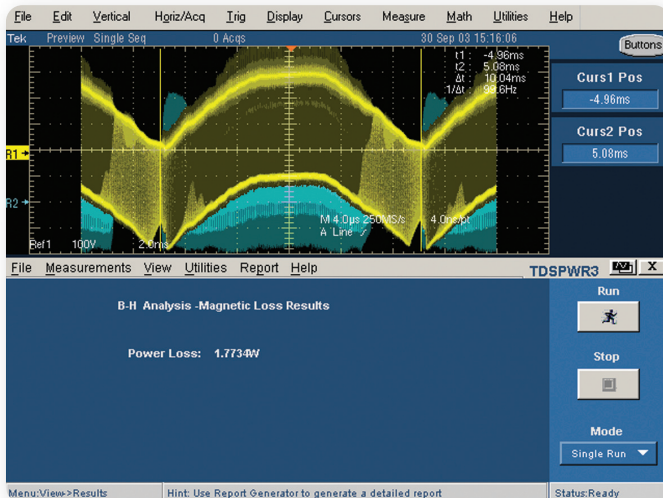
$$TotalPowerLoss = PowerLoss_{PR} - (PowerLoss_{S1} + PowerLoss_{S2} + \dots)$$

1차 코일에서 측정한 전력 손실에는 2차 코일의 반영된 전력이 포함됩니다.

따라서 1차 및 2차 코일의 전력을 측정하고 변환기 방정식을 사용하여 전력 손실을 계산해야 합니다.



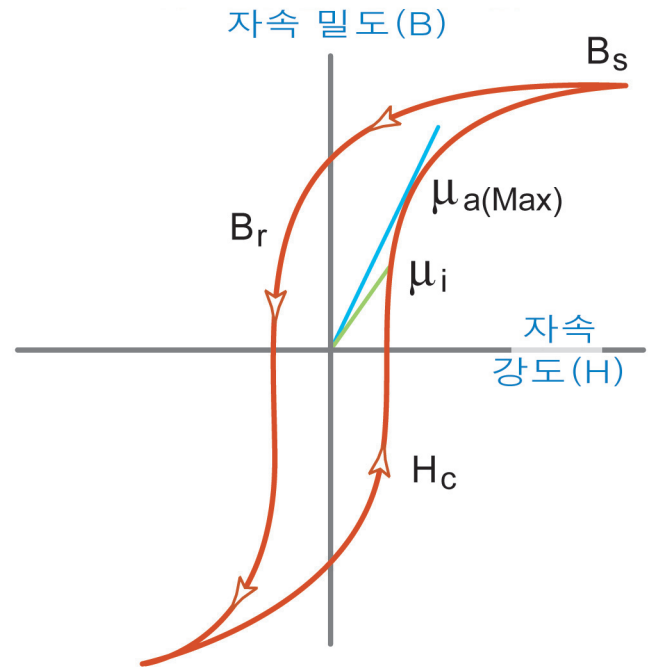
▶ 그림 21. TDSPWR3에 의해 측정된 단일 코일 인덕터에서의 전력 손실



▶ 그림 22. 활성 PFC 회로의 인덕터에서 전력 손실

자기 특성 기본 사항

스위치 모드 전력 공급기는 광범위한 작동 조건에서 안정적이어야 합니다. 최적의 성능을 위해 설계자는 일반적으로 제조업체가 제공하는 B-H(이력 현상) 곡선을 사용하여 변환기 및 인덕터와 같은 자기 구성 부품을 지정합니다. 이러한 곡선은 자기 장치 코어 재료의 성능 엔벨로프를 정의합니다. 작동 전압, 전류, 토폴로지 및 컨버터 종류를 포함한 여러 요소는 이력 현상 곡선의 선형 영역 내에서 유지되어야 합니다. 그러나 이러한 여러 변수를 선형 영역 내에서 유지하는 것은 쉽지 않습니다.



▶ 그림 23. 자기 요소의 일반 B-H(자화) 플롯

SMPS 내에서 작동하는 자기 구성 부품의 작동 영역을 특성화하는 것은 전력 공급기의 안정성을 결정하는 데 매우 중요합니다. 측정 절차에는 이력 현상 루프 구성 및 다음 사항이 포함됩니다:

포화 플럭스 밀도 (B_{peak})

측정된 피크 플럭스 밀도가 판매업체 데이터 시트의 포화 플럭스 밀도와 일치하는 경우 자기 구성 부품은 포화 상태로 진행됩니다. 이것은 전력 공급기의 안정성에 영향을 줍니다.

잔류 플럭스 밀도 (B_r)

보자력 (H_c)

투자율 (μ)

B-H 플롯은 자기 특성을 특성화합니다. 그림 23은 사인 여자에 대한 일반적인 B-H 플롯을 표시합니다.

B-H 플롯 측정을 수행하려면 다음 정보가 초기 단계부터 필요합니다:

자기 구성 부품의 전압

자화 전류

회전 수 (N)

자기 길이 (l)

단면적 (A_e)

전력 측정 및 분석

▶ 설명서

이러한 변수는 그림 22에 적용된 다음 정의에 사용됩니다.

자계 강도(H)는 테스트 대상 재료의 자기 플럭스를 유도하는 데 사용되는 자계입니다. 단위는 A/m로 표시됩니다.

$$H_k(t) = I_k(t) * \frac{N}{l}$$

여기서 N은 회전수이며 l는 자기 길이입니다.

포화 플럭스 밀도(Bs)는 외부에서 적용된 필드인 H의 크기에 관계 없이 재료에 유도될 수 있는 최대 자기 플럭스 밀도입니다.

$$\varphi_k = \int V(t)_k dt$$

및:

$$B_k(t) = \frac{\varphi_k}{N * S}$$

잔류 자기(Br)는 외부에서 적용된 자계(H)가 이력 현상 루프를 발생하는 동안 0으로 반환된 후 재료에 남아 있는 유도 자기 플럭스 밀도입니다.

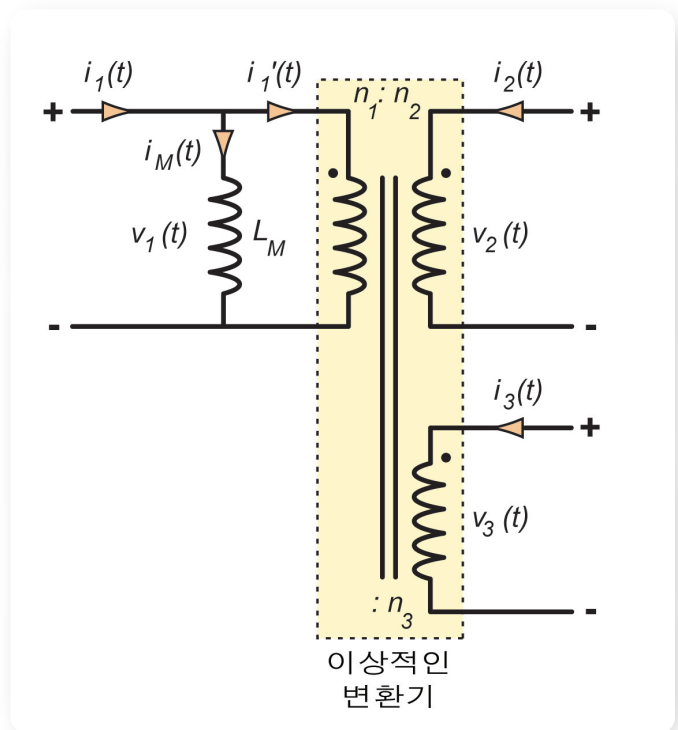
보자력(Hc)은 H축과 이력 현상 루프의 교차 지점에서의 H 값입니다. 이것은 이력 현상 루프의 측정 주기 동안 유도 플럭스 밀도(B)에 의해 0에 도달하는 데 필요한 외부 필드를 의미합니다. Hc는 양의 축과 음의 축에 대해 대칭 관계에 있습니다.

초기 투자율(μi)은 H가 0에 도달할 때 필드(H)를 적용하기 위한 유도 자기 플럭스 밀도(B)의 비율입니다. 이력 현상 루프의 특정 지점에서 B와 H의 비율입니다.

또한 최대 진폭 투자율은 이력 현상 루프의 양의 주기 첫 번째 분기에서 B와 H의 최대 비율입니다. 시작 지점에서 사선으로 그려진 선입니다.

자기 특성을 측정하려면 다음 정보가 필요합니다:

- ▶ 자기 구성 부품의 전압
- ▶ 자화 전류
- ▶ 회전 수 (N)
- ▶ 자기 길이 (l)
- ▶ 단면적 (A_e)



▶ 그림 24. 다중 코일 자기 요소

인덕터는 전력 공급기의 입력 및 출력에서 필터로 사용되며 단일 또는 다중 코일을 가질 수 있습니다.

인덕터 전압 및 전류는 다음 방정식을 따릅니다:

$$V_L(t) = R \cdot i_L(t) + L \cdot \frac{di_L(t)}{dt}$$

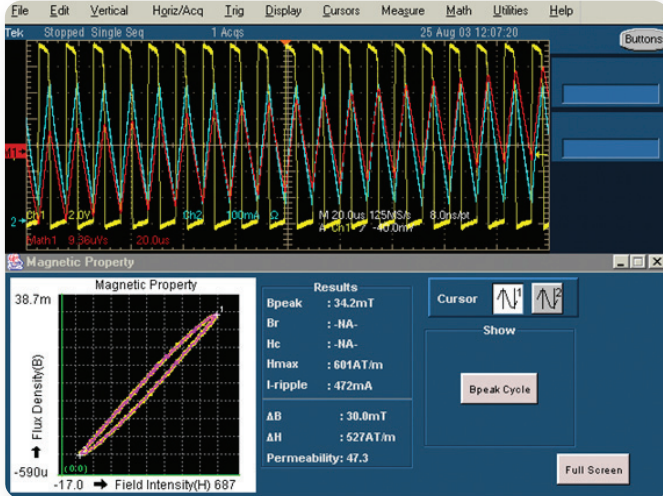
일반적인 DC-DC 컨버터의 경우 코일의 플럭스는 다음과 같이 표현됩니다:

$$L \cdot \frac{di_L(t)}{dt} = N \cdot \frac{d\varphi_L(t)}{dt}$$

및:

$$\varphi_L[(n+1)T_s] = \varphi_L[nT_s]$$

그림 24는 이중 인덕터 또는 변환기에 사용할 수 있는 일반적인 다중 코일 자기 요소를 표시합니다.



▶ 그림 25. 단일 코일 인덕터의 B-H 플롯

이 회로의 작동과 관련하여 적용되는 전기 방정식은 다음과 같습니다.

$$\frac{V_1(t)}{n_1} = \frac{V_2(t)}{n_2} = \frac{V_3(t)}{n_3}$$

및

$$i_1'(t) \cdot n_1 = -i_2(t) \cdot n_2 - i_3(t) \cdot n_3$$

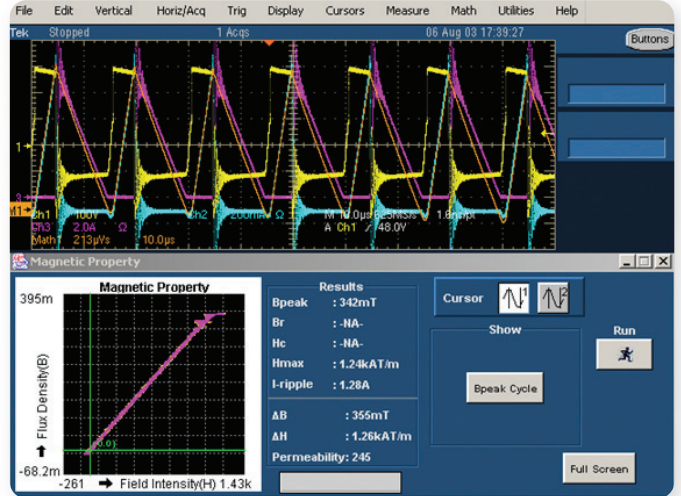
및

$$i_1(t) = i_M(t) + i_1'(t)$$

순 자화 전류를 계산하려면 $i_1(t)$, $i_2(t)$ 및 $i_3(t)$ 을 측정해야 합니다. 순 자화 전류가 제공된 경우 B-H 분석 절차는 단일 코일 인덕터에 사용된 절차와 비슷합니다. 플럭스는 순 자화 전류에 따라 결정됩니다. 모든 코일에서 측정된 전류의 벡터 합은 자화 전류를 발생시킵니다.

오실로스코프를 통한 자기 특성 측정

Tektronix TDSPWR3 패키지과 같은 전용 전력 측정 소프트웨어는 오실로스코프를 통해 자기 특성 측정을 상당히 단순화시킬 수 있습니다. 여러 인스턴스의 경우 전압 및 자화 전류를 측정하는 경우에만 필요합니다. 소프트웨어는 사용자에게 맞게 자기 특성 측정 계산을 수행합니다. 그림 25는 단일 코일 인덕터에서의 TDSPWR3 자기 특성 측정 결과를 표시하고 그림 26은 변환기 측정과 동일한 화면을 표시합니다.



▶ 그림 26. 변환기의 B-H 플롯

그림 26에서 채널 1(노란색 영역)은 변환기 전반에 걸친 전압이고 채널 2(파란색 영역)는 1차 코일을 통과하는 전류이며 채널 3(자홍색 영역)은 2차 코일을 통과하는 전류입니다.

소프트웨어는 채널 2 및 채널 3 데이터를 사용하여 자화 전류를 결정합니다. 테스트 회전수를 설정하려면 자기 길이 및 코어 단면적을 먼저 입력해야 합니다. 소프트웨어는 이 정보를 사용하여 자기 구성 부품에 대한 정확한 B-H 플롯을 구성하고 성능을 특성화할 수 있습니다. TDSPWR3 소프트웨어는 획득한 메모리에서 각 주기별 B-H 플롯을 계산합니다.

최대 플럭스 밀도를 가진 B-H 플롯은 그림 26의 왼쪽 하단 창에 표시됩니다. 여기서 B-H 플롯, B_{peak} , H_{max} , 및 투자율을 측정하여 표시합니다. 또한 TDSPWR3 소프트웨어는 코어 손실에 비례하기 때문에 잔결 전류를 측정할 수 있습니다.

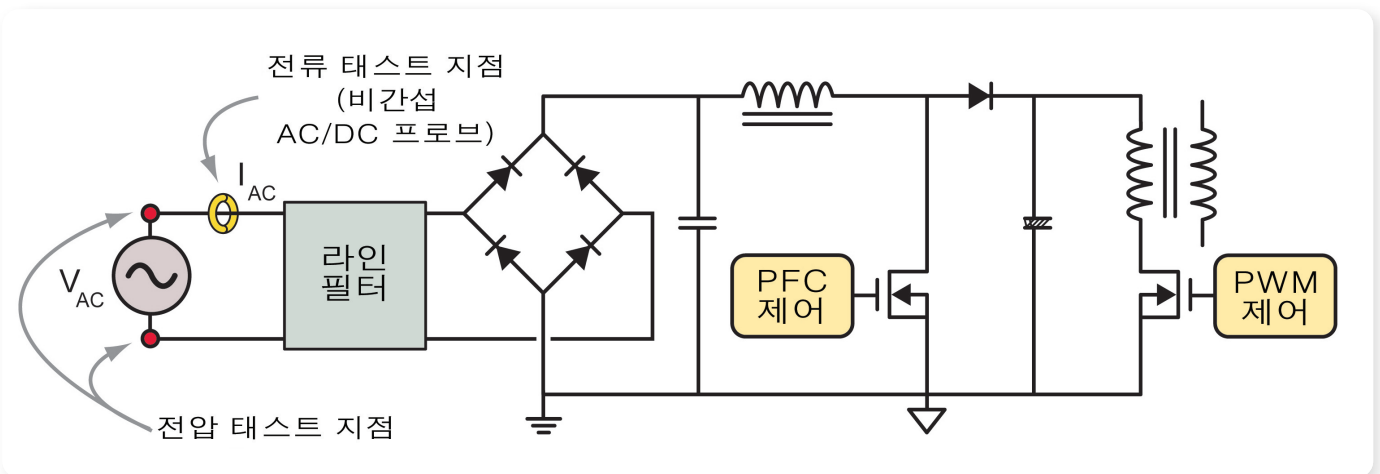
전력 라인 측정

전력 라인 측정은 공급기의 상호 작용 및 서비스 환경을 특성화합니다. 전력 공급기는 개인용 컴퓨터의 소형 팬 공급 상자에서 공장 모터에 전력을 공급하는 여러 크기의 장치, 폰 뱅크 및 서버를 지원하는 대용량 공급기에 이르기까지 다양한 크기를 가질 수 있습니다 이러한 공급기는 전원을 공급하는 수신 전원(일반적으로 유틸리티 전원)에 의해 영향을 받습니다.

전력 공급기의 수신 전원 영향을 파악하려면 입력 전력 라인에서 전력 전압 및 전류 매개 변수를 직접 측정해야 합니다.

전력 측정 및 분석

▶ 설명서



▶ **그림 27.** SMPS 전력 공급기(1차 코일만 해당) 및 전력 품질 측정 테스트 지점에 대한 개략도. 전력 품질 측정을 위해 순간적인 입력 V_{AC} 및 I_{AC} 판독을 수행해야 합니다.

전력 품질 측정 기본 사항

SMPS에서의 전력 품질 측정

전력 품질은 전기 발전기에 의해서만 결정되지 않습니다. 또한 전력 공급기의 설계 및 제조 업체, 최종 사용자의 로드에도 의해서도 결정됩니다. 전력 공급기의 전력 품질 특성은 전력 공급기의 "상태"를 정의합니다.

실제 전력 라인은 이상적인 사인파를 제공하지 않으며 라인에 항상 일부 왜곡과 불순 상태가 존재합니다. 스위칭 전력 공급기는 소스에 비선형적인 로드를 제공합니다. 이러한 이유로 전압 및 전류 파형은 일치하지 않습니다. 전류는 입력 주기 일부에서 인가되기 때문에 입력 전류 파형에 고조파가 발생하는 원인이 됩니다. 이러한 왜곡 현상의 영향을 파악하는 것은 전력 엔지니어링에 있어서 중요한 사항입니다.

전력 라인의 전력 소비 및 왜곡을 파악하려면 그림 27에 표시된 전압 및 전류 테스트 지점과 같이 입력 단계에서 전력 품질 측정을 수행합니다.

전력 품질 측정에는 다음과 같은 사항이 포함됩니다:

- ▶ 유효 전력
- ▶ 피상 전력 또는 무효 전력
- ▶ 전력 계수
- ▶ 크레스트율
- ▶ EN61000-3-2 표준에 의한 전류 고조파 측정
- ▶ THD(총 고조파 왜곡)

오실로스코프를 통한 전력 품질 측정

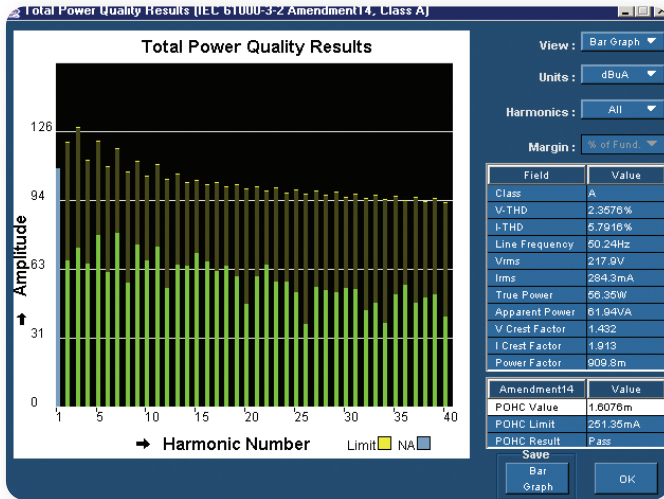
적절한 도구 사용

TDSPWR3과 같이 소프트웨어 패키지를 실행하는 디지털 오실로스코프(TDS5000B 시리즈와 같은 DSO 또는 DPO)는 전력 품질 측정을 위해 전통적으로 사용하는 전력 측정기 및 고조파 분석기를 대신하는 강력한 도구입니다.

기존의 도구 세트보다 오실로스코프를 사용하면 여러 가지 혜택을 받을 수 있습니다. 장비는 기본 고조파 중 최대 50번째 고조파 구성 요소를 포착할 수 있어야 합니다. 전력 라인 주파수는 해당 지역 표준에 따라 일반적으로 50Hz 또는 60Hz입니다. 일부 군사 및 항공 전자 장비 애플리케이션의 경우 라인 주파수는 400Hz입니다. 물론 신호 착오가 고주파수 영역에 포함될 수 있습니다. 오늘날 고속 오실로스코프의 경우 초과 샘플링(TDS5000B 시리즈의 경우 최대 5기가샘플/초)으로 인해 빠르게 변화하는 이벤트를 상당히 세부적으로(해상도) 포착합니다. 반대로 전통적인 전력 측정기는 상대적으로 느린 반응 시간으로 인해 신호 세부 정보를 포착하지 못할 수 있습니다.

오실로스코프의 레코드 길이는 매우 높은 샘플링 해상도에 서도 정수 단위로 주기를 획득하기에 충분합니다.

소프트웨어 도구는 신속하게 측정 절차를 수행하고 설정 시간을 최소화합니다. 대부분의 전력 품질 측정은 오실로스코프 자체에서 실행하는 완벽한 기능의 전력 측정 소프트웨어를 통해 초단위로 수행되는 긴 절차를 자동화할 수 있습니다. 수동 계산 절차를 줄일 수 있기 때문에 오실로스코프는 매우 다목적이고 효율적인 전력 측정기 역할을 수행합니다.



▶ 그림 28. TDS5000B 시리즈 오실로스코프와 TDSPWR3 측정 및 분석 소프트웨어를 사용하여 측정한 전력 품질 결과

또한 오실로스코프 프로브는 안전하고 안정된 전력 측정을 지원합니다. 전력 애플리케이션용으로 설계된 고전압 차동 프로브는 플로팅 전압 신호 관찰에 적합한 도구입니다.

전류 프로빙은 특별히 고려할 부분입니다. 다음과 같은 여러 가지 전류 프로빙 구현 방법이 있습니다:

- ▶ AC 전류 프로브는 전류 변환기(CT) 기술을 기반으로 합니다. CT 프로브는 비간섭적이지만 신호에서 DC 구성 요소를 인식할 수 없기 때문에 측정이 정확하지 않습니다.
- ▶ 전류 분류기 이 설계는 회로 인터럽트가 필요하며 프로브 자체 내에서 전압 강하를 일으켜 전력 측정 정확성을 떨어뜨릴 수 있습니다.
- ▶ AC/DC 전류 프로브는 일반적으로 홀 효과 센서 기술을 기반으로 합니다. 이 장치는 AC/DC 전류를 간섭 없이 감지하고 하나의 연결을 통해 AC 및 DC 구성 요소를 판독할 수 있습니다.

AC/DC 전류 프로브는 스위치 모드 전력 공급기의 전력 품질 측정에 적합한 도구입니다.

오실로스코프를 통한 전력 품질 측정

TDS5054B와 같은 DPO에 TDSPWR3 소프트웨어가 장착되어 있는 경우 완벽한 자동화 전력 측정 플랫폼으로 변환됩니다. 소프트웨어가 자동으로 오실로스코프와 초기 측정 매개 변수를 설정합니다. 원하는 경우 수동으로 미세 조정을 수행할 수 있습니다.

그림 28은 TDS5000B 시리즈 오실로스코프와 TDSPWR3 측정 및 분석 소프트웨어를 사용하여 획득한 전력 품질 및 전류 고조파 판독 결과를 표시합니다. 디스플레이는 유효 전력, 피상 전력, 크레스트율, 총 고조파 왜곡, 전력 계수를 포함한 전반적인 측정 결과와 전류 고조파에 대한 막대 그래프를 표시합니다.

결론

전력 공급기는 거의 모든 유형의 라인 가동식 전자 제품에 장착되어 있으며 스위치 모드 전력 공급기(SMPS)는 디지털 컴퓨팅, 네트워킹 및 통신 시스템의 기본 아키텍처가 되고 있습니다. 단일 스위치 모드 전력 공급기의 성능 또는 결함은 대용량의 고가 시스템 수명에 영향을 줄 수 있습니다.

측정은 주목 받고 있는 SMPS 설계의 신뢰성, 안정성, 표준 및 안전성을 보장하는 유일한 방법입니다. SMPS 측정은 활성 장치 측정, 패시브 장치 측정(대부분 자기 장치) 및 전력 품질 테스트의 세 가지 주요 범주로 나눌 수 있습니다. 일부 측정은 플로팅 전압 및 고전류와 관계 있으며 기타 측정은 의미 있는 결과를 얻기 위해 수학적 분석을 필요로 합니다. 전력 공급기 측정은 복잡할 수 있습니다. 최신 디지털 오실로스코프는 특성화 및 측정 문제 해결에 적합한 도구입니다.

Tektronix TDS5000B 시리즈의 DPO와 같은 오실로스코프는 적절한 프로빙 도구 및 자동 측정 소프트웨어를 설치한 경우 SMPS 측정 과정을 상당히 단순화하여 신속하고 정확한 결과를 제공합니다. 비간섭 전류 프로빙과 같은 기술은 회로 무결성을 유지하고 평활화 필터와 같은 소프트웨어 기반 도구는 반복 가능한 결과를 보장합니다. 또한 복잡한 수학 과정을 통합된 소프트웨어를 통해 자동으로 처리합니다.

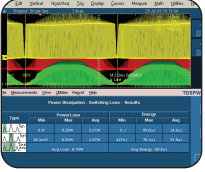
기능이 다목적이면서 사용하기 간편하기 때문에 오실로스코프는 전력 공급기 설계실의 여러 가지 전통적인 단일 기능 도구를 대체하고 있습니다.

TDS5000B



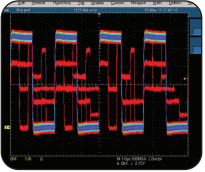
TDS5000B 시리즈는 업계 최초로 쉽게 사용자 정의할 수 있는 오실로스코프 사용자 인터페이스를 제공합니다. MyScope[®] 창은 작업에서 원하는 중요한 제어, 기능 및 용량만으로 제어 창을 구축할 수 있는 혁신적인 새로운 기능입니다. 처음으로 오실로스코프의 다양한 부분에서 필요한 모든 기능을 하나의 제어 창에 집어 넣어 오실로스코프 기능을 각 사용자에게 맞게 효과적으로 사용자 정의한 "도구 상자"를 만들 수 있습니다.

TDSPWR3



TDSPWR3 전력 측정 및 분석 소프트웨어는 Tektronix 디지털 오실로스코프를 전력 공급 스위칭 장치 및 자기 구성 요소의 전력 방출을 신속하게 측정하고 분석하는 정교한 분석 도구로 바꾸어 주며 사용자가 지정한 형식으로 상세한 테스트 보고서를 생성합니다. 전력 공급 설계 및 테스트를 위한 완전한 측정 시스템을 구축하려면 TDSPWR3을 Tektronix TDS5000B, TDS/CSA7000B 또는 TDS6000 시리즈 오실로스코프 그리고 차동 전압 및 전류 프로브와 함께 사용하십시오.

디지털 포스퍼 오실로스코프(DPO)



디지털 포스퍼 오실로스코프(DPOs)를 통해 설계자는 다른 오실로스코프보다 훨씬 신속하고 간편하며 정확하게 실시간으로 동적 신호 정보를 포착, 표시 및 측정할 수 있기 때문에 직렬 버스 설계를 통해 바쁜 일정을 준수하고 또한 오류가 있는 문제를 신속하게 해결할 수 있습니다.

Tektronix 연락처:

ASEAN/호주/파키스탄 (65) 6356 3900

남 아프리카 +27 11 254 8360

네덜란드 090 02 021797

노르웨이 800 16098

대만 886 (2) 2722-9622

대한민국 82 (2) 528-5299

덴마크 80 88 1401

독일 +49 (221) 94 77 400

러시아, CIS 및 발트해 7 095 775 1064

룩셈부르크 +44 (0) 1344 392400

멕시코, 중앙 아메리카 및 카리브해 52 (55) 56666-333

미국 1 (800) 426-2200

미국 (수출 영업) 1 (503) 627-1916

발칸, 이스라엘, 남아프리카 및 다른 ISE 국가 +41 52 675 3777

벨기에 07 81 60166

브라질 및 남아메리카 55 (11) 3741-8360

스웨덴 020 08 80371

스위스 +41 52 675 3777

스페인 +34 (901) 988 054

영국 및 아일랜드 +44 (0) 1344 392400

오스트리아 +41 52 675 3777

이탈리아 +39 (02) 25086 1

인도 (91) 80-22275577

일본 81 (3) 6714-3010

중국 86 (10) 6235 1230

중동, 아시아 및 북아프리카 +41 52 675 3777

중동부 유럽, 우크라이나 및 발트해 국가 +41 52 675 3777

중유럽 및 그리스 +41 52 675 3777

캐나다 1 (800) 661-5625

포르투갈 80 08 12370

폴란드 +41 52 675 3777

프랑스 및 북아프리카 +33 (0) 1 69 81 81

핀란드 +41 52 675 3777

홍콩 (852) 2585-6688

기타 지역은 Tektronix, Inc. 1 (503) 627-7111번으로 문의하십시오.

마지막 업데이트 날짜: 2004년 11월 3일

추가 정보

Tektronix는 애플리케이션 노트, 기술 요약 및 기타 리소스 모음을 지속적으로 폭넓게 제공함으로써 최신 기술 분야에 종사하고 있는 엔지니어에게 도움을 주고 있습니다. www.tektronix.com을 방문해 주십시오.



Copyright © 2005, Tektronix, Inc. All rights reserved. Tektronix 제품은 출원되었거나 출원 중인 미국 및 외국 특허에 의해 보호됩니다. 본 출판물에 있는 정보는 이전에 출판된 모든 자료를 대체합니다. 본사는 사양과 가격을 변경할 권리를 보유합니다. TEKTRONIX 및 TEK는 Tektronix, Inc.의 등록 상표입니다. 참조되는 다른 모든 상표 이름은 해당 회사의 서비스 마크, 상표 또는 등록 상표입니다.

01/05 DM/BT

55K-18412-0

Tektronix
Enabling Innovation