



전력 품질 및 효율 분석 테스트 (Power Quality and Efficiency Analysis Test)

Application Note

Introduction / 서론

새로운 스마트폰에 고속 충전 기술이 적용되면서, GaN(질화갈륨)과 SiC(탄화규소) 기반 충전기가 큰 주목을 받고 있습니다. GaN과 SiC 반도체의 와이드 밴드갭 특성 덕분에, 이러한 소재를 사용하는 전원 공급 장치는 더 높은 스위칭 속도, 더 낮은 스위칭 손실, 더 높은 변환 효율을 제공하여 더 작고 에너지 효율적인 충전기를 구현할 수 있습니다. 이러한 장점으로 인해 전기차와 휴대용 전자기기에서 널리 채택되고 있습니다.

스위칭 전원 공급 장치 개발에서 다음과 같은 핵심 요소는 전원 품질에 직접적인 영향을 미칩니다.

• 전력 품질(Power Quality)

전력 품질은 전원 공급 장치 성능을 평가하는 기본 테스트 파라미터입니다. 주요 지표에는 전압 RMS(V_{RMS}), 전류 RMS(I_{RMS}), 역률(PF), 그리고 고조파(Harmonic)가 포함됩니다.

• 변환 효율(Conversion Efficiency)

변환 효율은 출력 전력과 입력 전력의 비율로, 전원 공급 장치 성능을 나타내는 기본 지표입니다. 스위칭 전원 설계에서 변환 효율 최적화는 가장 중요한 목표 중 하나입니다. 높은 변환 효율은 에너지 절약 성능을 향상시킬 뿐만 아니라 운영 비용을 줄여줍니다. 특히 충전 효율과 에너지 절약, 환경 보호에 중점을 두는 대형 전원 장비(예: 충전 스테이션, 태양광 발전)에 매우 유리합니다.

• 출력 전압 리플(Output Voltage Ripple)

리플은 DC 전압 내의 AC 성분을 의미합니다. DC 전원 공급 장치의 경우, 출력 DC 전압의 안정성은 구동 장비의 작동 안정성에 직접적인 영향을 미칩니다. 리플은 DC 전원 출력 전압 안정성에 영향을 미치는 주요 지표이며, 리플이 낮을수록 출력 전압은 더 안정적입니다.

<원리 설명 / 동작 모드>

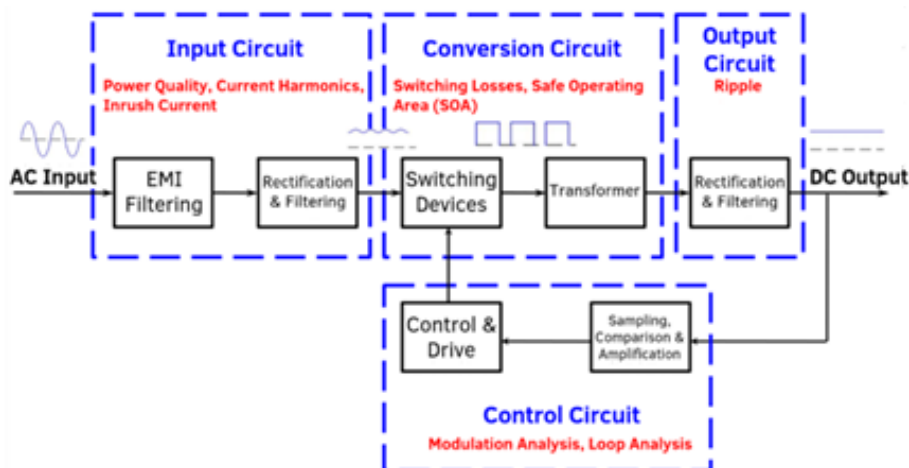


그림 1: 스위칭 전원 공급 장치의 다이어그램

1. 전력 품질 파라미터(Power Quality Parameters)

다음 파라미터는 스위칭 전원 공급 장치의 전력 품질을 평가하는 주요 지표입니다. 스위칭 전원 공급 장치의 전력 입력과 라인 품질을 측정하여 전력 품질 테스트를 수행할 때, 아래 항목들이 기본 테스트 항목입니다.

- ✓ **V_{RMS}**: AC 입력의 RMS(실효값) 전압
- ✓ **I_{RMS}**: 스위칭 전원 공급 장치가 동작할 때 AC 입력의 RMS(실효값) 전류
- ✓ **겉보기 전력(Apparent Power)**: V_{RMS}와 I_{RMS}의 곱으로, 스위칭 전원 공급 장치에 공급되는 전기 용량을 나타내며 단위는 VA
- ✓ **유효 전력(Active Power)**: 전원 공급 장치가 단위 시간당 실제로 소비하는 전기 에너지, 즉 전기 에너지가 다른 형태의 에너지로 변환되는 전력. 단위는 W
- ✓ **무효 전력(Reactive Power)**: 교류 회로에서 교번 자기장과 유도 자속을 형성하기 위해 필요한 전력. 이 에너지는 전원과 유도성 부품(인덕터, 커패시터) 사이에서 교환되지만 기계적 에너지나 열로 변환되지 않습니다. 단위는 VAR
- ✓ **역률(Power Factor)**: 유효 전력과 겉보기 전력의 비율로, 스위칭 전원 공급 장치가 교류 전원을 얼마나 효율적으로 사용하는지를 나타냅니다. 역률이 낮으면 무효 전력이 큼니다. 인덕터와 커패시터로 인한 무효 전력 외에도 비선형 소자에서 발생하는 고주파 고조파도 무효 전력의 일부를 차지합니다.
- ✓ **위상각(Phase Angle)**: 전원 공급 장치가 동작할 때 AC 공급 전압과 전류 사이의 위상 차이

2. 변환 효율(Conversion Efficiency)

스위칭 전원 공급 장치의 변환 효율에 영향을 미치는 주요 요인에는 스위칭 소자의 스위칭 손실과 도통 손실, 자기 부품의 코어 손실과 동손 등이 있습니다. 이 중에서 스위칭 손실은 가장 중요한 요인 중 하나입니다.

MOSFET 및 IGBT와 같은 스위칭 소자가 턴온(turn-on) 및 턴오프(turn-off) 과정에서, 회로 내 인덕티브 부품과 전력 소자의 전자 드리프트 속도의 영향으로 인해,

턴온 시: 소자가 켜질 때 전압은 즉시 0으로 떨어지지 못하고, 이미 전류가 상승하기 시작합니다.

턴오프 시: 소자가 꺼질 때 전류는 즉시 0으로 떨어지지 못하고, 이미 전압이 상승해 있습니다.

이러한 현상으로 인해 스위칭 손실이 발생합니다.

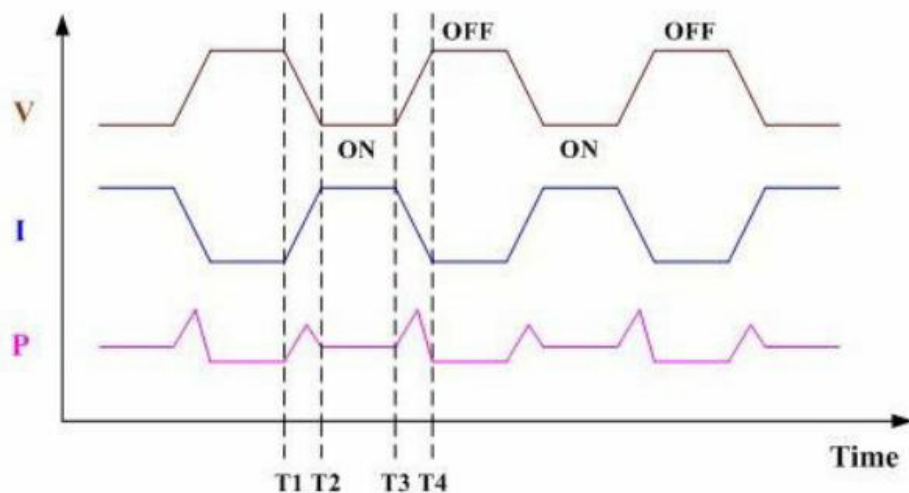


그림 2: 스위칭 전원 공급 장치의 변환 효율

회로 설계를 최적화하고, 이상적인 스위칭 특성을 가진 전력 소자를 선택하며, 소프트 스위칭(Soft Switching) 기법을 적용하면 스위칭 손실을 효과적으로 줄일 수 있습니다. 이를 통해 스위칭 전원 공급 장치의 변환 효율을 향상시킬 수 있습니다.

3. 출력 전압 리플(Output Voltage Ripple)

스위칭 전원 공급 장치의 출력 전압 리플은 주로 전력 소자가 턴온(turn-on) 및 턴오프(turn-off) 과정에서 출력 필터 커패시터를 통해 흐르는 맥동 전류(pulsating current)로 인해 발생하는 전압 변동에서 기인합니다. 이 리플은 일반적으로 수백 kHz 이상의 주파수에서 나타나며, 저주파 성분은 주로 전원 라인 주파수 간섭과 그 고조파에서 발생합니다.

스위칭 전원 공급 장치 회로 내에서 발생하는 고조파는 부하의 정상 동작뿐만 아니라 전력망에 연결된 다른 전기 장비에도 영향을 줄 수 있습니다.

이러한 고조파 방출 기준을 규제하기 위해 유럽연합(EU)은 IEC61000-3-2 표준을 제정했으며, 이 표준은 스위칭 전원 공급 장치가 준수해야 하는 전류 고조파 제한을 명시합니다.

EN 61000-3-02 표준

분류	설명
Category A	평형 3상 장비, 가전제품(D 범주에 속하는 장비 제외), 도구(휴대용 도구 제외), 백열전구 디머, 오디오 장비 및 B, C 또는 D 범주로 지정되지 않은 장비
Category B	휴대용 도구, 특수 용도로 의도되지 않은 아크 용접 장비
Category C	조명 장비
Category D	개인용 컴퓨터, 모니터, 텔레비전 수신기 등 입력 전력이 600W 미만인 장비

Category A 장비에 대한 고조파 한계 표준

고조파 순서 (Harmonic order) n	최대 허용 고조파 전류 (Maximum permissible harmonic current) A
홀수 고조파(Odd harmonics)	
3	2.30
5	1.14
7	0.77
9	0.40
11	0.33
13	0.21



$15 \leq n \leq 39$	$0.15 \frac{15}{n}$
짝수 고조파(Even harmonics)	
2	1.08
4	0.43
6	0.30
$8 \leq n \leq 40$	$0.23 \frac{8}{n}$

테스트 환경 설정 및 운영 절차

전원 공급 장치의 전력 품질 및 효율 테스트

전원 공급 장치의 전력 품질 및 효율 테스트를 위한 테스트 환경 설정

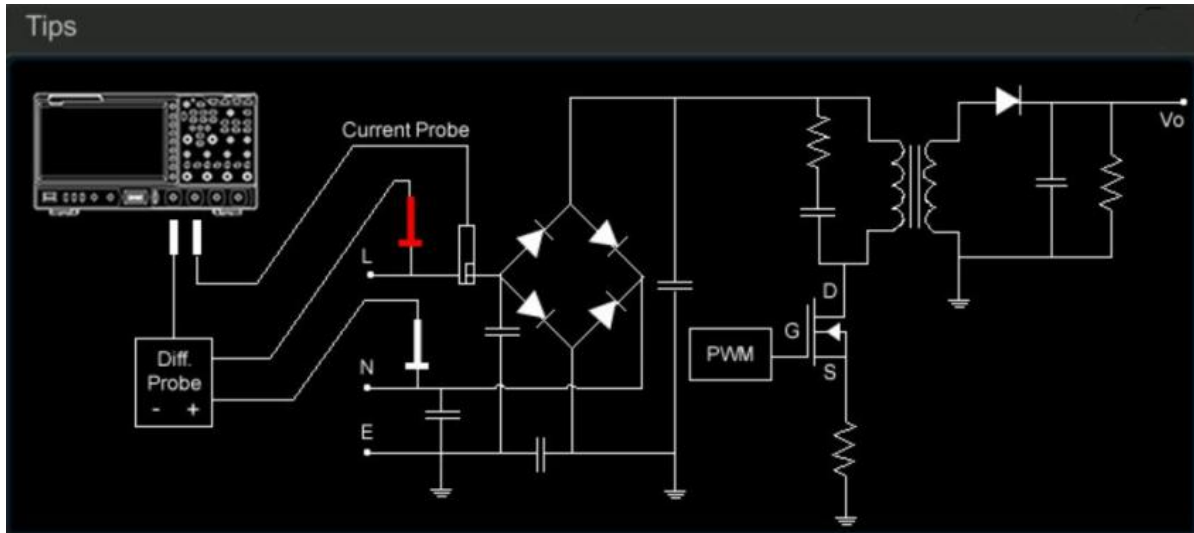


그림 3: 전력 품질 테스트 연결 다이어그램

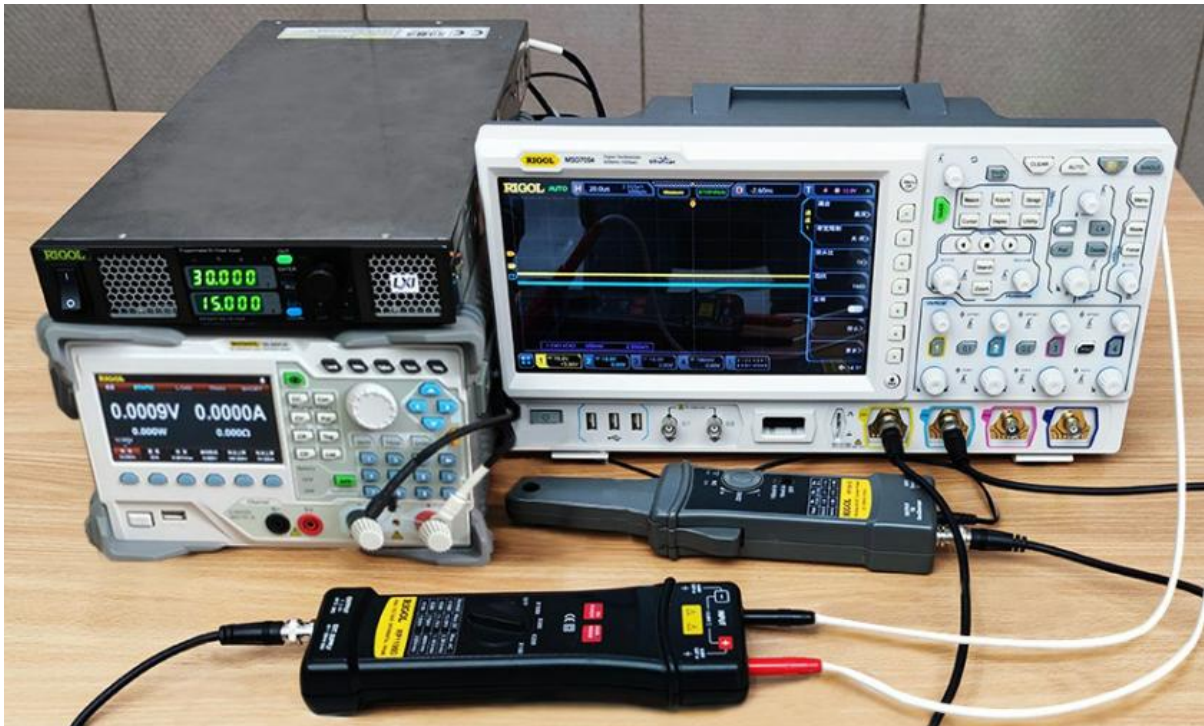


그림 4: 전력 변환 효율 테스트 연결 다이어그램

테스트 준비

1. RP1100D 고전압 차동 프로브를 DS7054 오실로스코프의 CH1에 연결합니다. 프로브를 전원 입력 포트의 L 및 N선에 연결합니다.
2. RP1001C 전류 프로브를 DS7054 오실로스코프의 CH2에 연결합니다. 자기 소거 및 영점 조정을 수행합니다.
3. RP1001C 전류 프로브를 전원 입력 포트의 L 라인에 클램프로 고정합니다.
4. 스위칭 전원 공급 장치의 출력 단자는 전자 부하 DL3031A의 입력 단자에 연결됩니다.

1단계: 채널 지연(Delay) 교정 수행

1. USB 케이블을 통해 RPA246 오프셋 교정 픽스처에 전원을 공급한 후, RP1100D 전압 프로브의 양극과 음극을 픽스처의 해당 양극과 음극 전압에 연결합니다. 그림과 같이 RP1001C 전류 프로브를 픽스처의 전류 루프에 고정합니다.
2. 그런 다음 오실로스코프를 조정하고 CH1과 CH2 신호의 상승 에지를 화면 중앙에 맞춥니다. 채널 지연을 조정하여 두 채널의 신호를 정확하게 정렬하여 두 채널 간의 시간 차이를 제거합니다.
3. 채널 지연 교정을 완료한 후, RP1100D를 스위칭 전원 공급 장치 AC 입력의 활선 및 중성선에 연결합니다. 프로브 감쇠량과 오실로스코프 CH1 프로브 비율을 모두 X200으로 설정합니다. RP1001C를 전선에 고정하고 감쇠를 100 mV/A로 설정하고 오실로스코프 CH2 프로브 비율을 X10으로 구성합니다.



그림 5: 채널 지연(Delay) 교정 연결 다이어그램

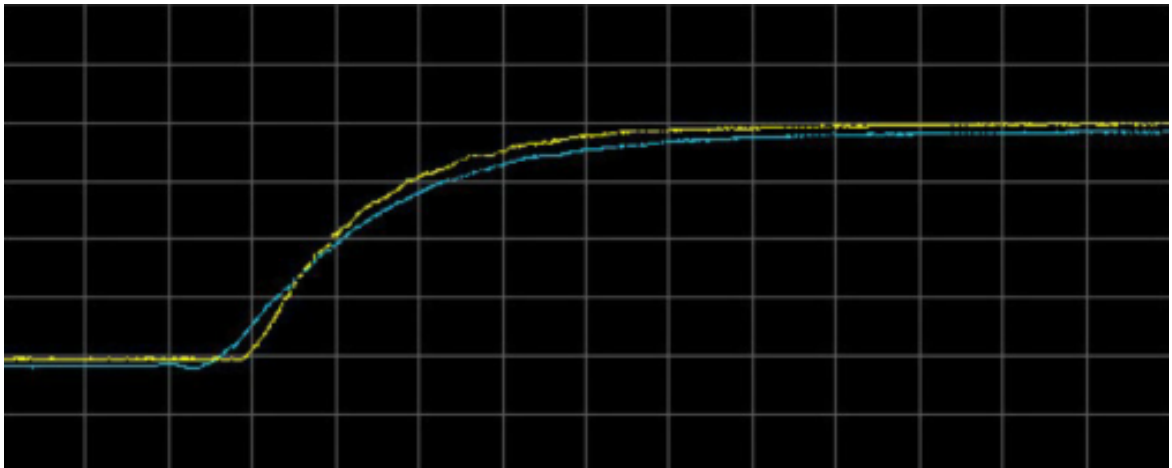


그림 6: 채널 지연(Delay) 교정 화면 표시

2단계: 부하 설정 및 테스트 (Load Configuration and Test)

- DL3031A 전자 부하의 CC(정전류) 키를 누른 후, 정전압 전원 공급 장치의 출력이 정격 전력 또는 정격 전력의 50%가 되도록 CC 전류를 조정합니다. ON/OFF 키를 눌러 CC 기능을 활성화합니다.
- LED 드라이버와 같은 정전류 전원 공급 장치의 경우, DL3031A의 CV(정전압) 키를 누른 후, 정전압 전원 공급 장치의 출력이 정격 전력 또는 정격 전력의 50%가 되도록 CV 전압을 조정합니다. ON/OFF 키를 눌러 CV 기능을 활성화합니다.
- DL3031A 화면에 표시된 전력 값을 스위칭 전원 공급 장치의 출력 전력(Pout)으로 기록합니다.



그림 7: 전자 부하 설정

3단계: 전력 품질 테스트 수행 (Perform Power Quality Test)

1. 화면 왼쪽 하단에 있는 기능 탐색 아이콘을 클릭하거나 탭합니다. 팝업 메뉴에서 "전력 분석"을 선택하고 분석 유형으로 "전력 품질"을 선택합니다. CH1을 전압 채널로, CH2를 전류 채널로 설정합니다. 디스플레이 기능을 활성화하면 전력 품질 테스트 결과가 화면에 표시됩니다.
2. 스위칭 전원 공급 장치의 입력 전력(핀)으로 "실제 전력" 값을 기록합니다.
3. P_{out}/P_{in} 공식을 사용하여 스위칭 전원 공급 장치의 변환 효율을 계산합니다.

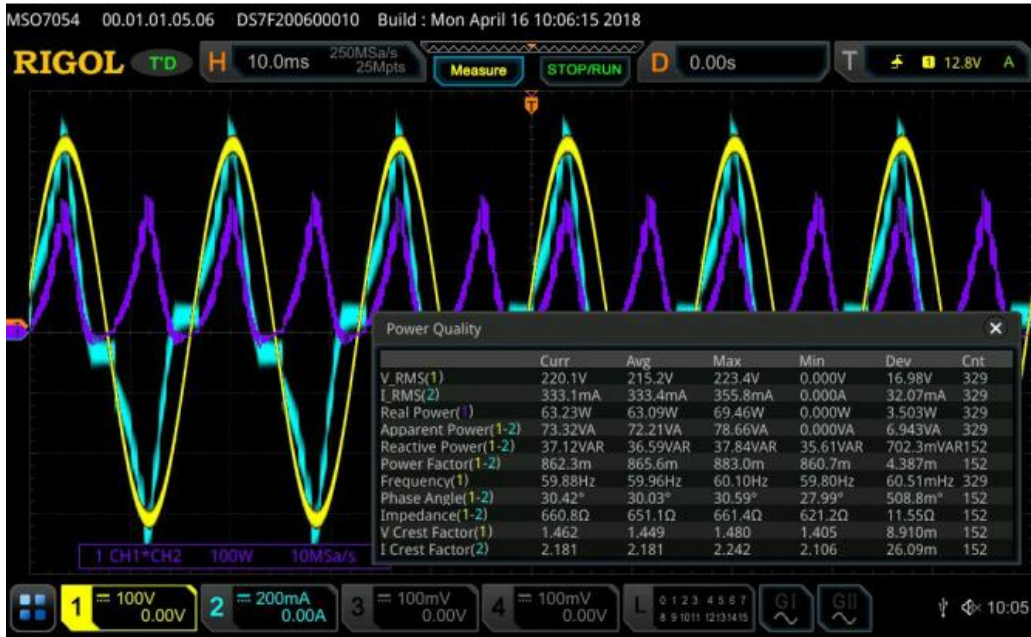


그림 8: 전력 품질 테스트 결과

4단계: 전류 고조파 테스트 수행 (Perform Current Harmonic Test)

1. USB 케이블을 사용하여 오실로스코프를 PC에 연결합니다.
2. PC에서 UPA 소프트웨어를 실행하고 전류 고조파 테스트 매개변수를 구성합니다.
3. 테스트를 수행하면 소프트웨어에 고조파 상태가 표시됩니다.

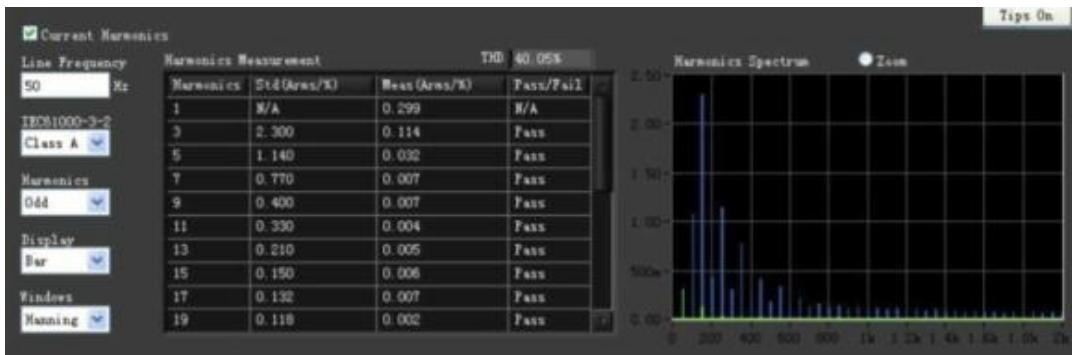


그림 9: 전류 고조파 테스트 인터페이스

<전원 공급 장치 리플 테스트 (Power Supply Ripple Test)>

전원 공급 장치 리플 테스트를 위한 테스트 환경 (Test Environment for Power Supply Ripple Test)

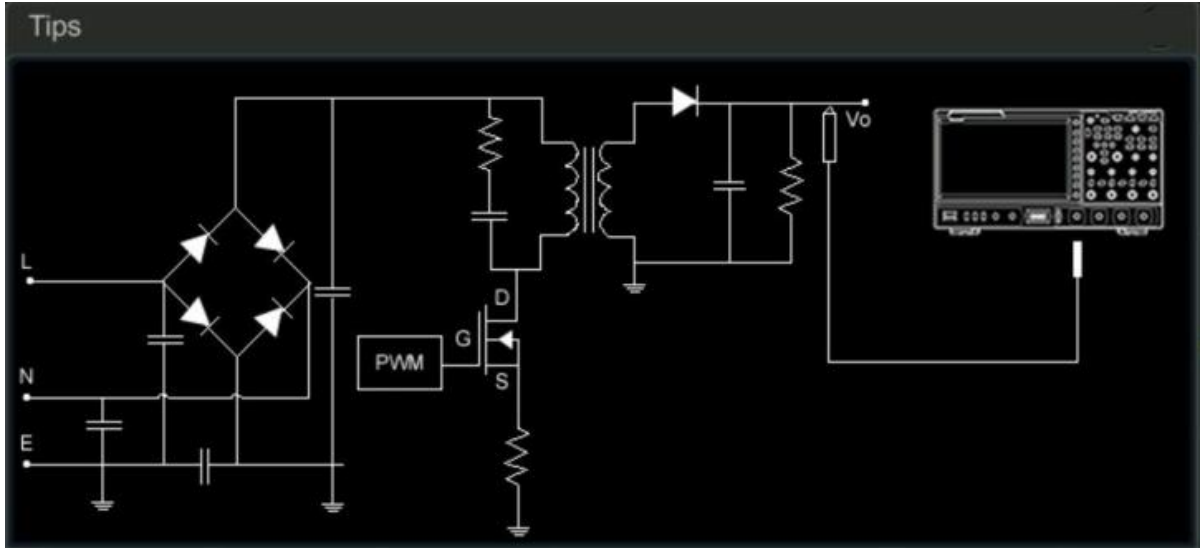


그림 10: 전원 리플 테스트 회로 다이어그램

테스트 준비

1. 스위칭 전원 공급 장치의 출력 단자를 전자 부하의 입력 단자에 연결합니다.
2. PVP2350 고임피던스 패시브 프로브를 DS8104 오실로스코프의 CH1에 연결합니다.



그림 11: 전원 리플 테스트 연결 다이어그램

전원 리플 테스트 수행

1. 오실로스코프의 대역폭 제한을 20 MHz로 설정합니다.
2. 프로브와 접지선으로 형성된 루프를 통해 회로에 노이즈가 결합되는 것을 방지하기 위해, 프로브에 내장된 접지 스프링을 사용하여 접지합니다.
3. 프로브 감쇠비와 오실로스코프 CH1 프로브 비율을 모두 X1로 설정하여 오실로스코프 노이즈 간섭을 최소화합니다.
4. 오실로스코프의 채널 결합 모드를 AC 결합으로 설정하여 DC 성분을 차단하고 신호 관찰을 용이하게 합니다.
5. 분석 유형으로 Ripple을 선택하고, CH1의 피크-투-피크 측정 기능을 활성화하여 리플 전압의 피크-투-피크 값을 얻습니다.

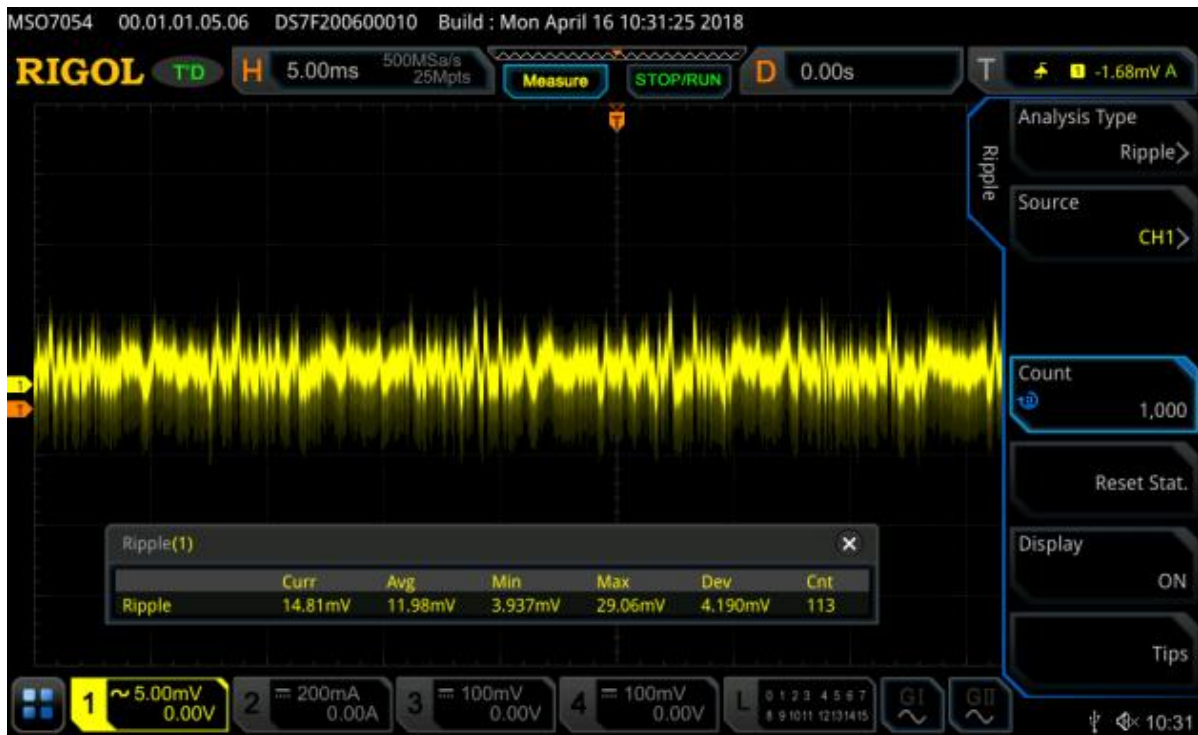


그림 12: 전원 리플 테스트 결과

운용 포인트(Operation Points)

● 프로브 선택(Choice of Probe)

전력 품질 테스트를 위해서는 반드시 고전압 차동 프로브를 전압 측정용으로 선택해야 합니다.

단일 종단 프로브는 절대 사용해서는 안 됩니다. AC 전력 시스템에서 중성선은 Live 선과 부하와 함께 전류 루프를 형성합니다. 오실로스코프 프로브의 접지선은 전원 접지에 연결되어 있기 때문에, 단일 종단 프로브로 메인 전압을 측정하면 중성선을 대지 접지로 단락시키는 효과가 발생합니다.

이는 공통 모드 간섭을 증가시키고 단락 위험을 초래하며, 테스트 장비를 손상시킬 가능성이 있습니다.

● 탈자(Demagnetization) 및 제로 조정(Zero Adjustment)

전류 프로브는 초기 값 오류가 실제 전류 측정 결과에 영향을 주지 않도록 탈자(Degauss) 및 제로(Zero) 설정을 반드시 수행해야 합니다.

● 위상 교정(Phase Calibration)

전원 공급 장치의 전압 및 전류 테스트를 수행하기 전에 반드시 채널 위상 교정을 해야 합니다.

초기 채널의 위상 오류는 최종 테스트 결과에 그대로 반영되며, 전압과 전류의 위상각(φ), 유효 전력, 역률(PF) 계산 결과는 모두 이 위상각과 관련됩니다.

전압 측정 채널과 전류 측정 채널 간에 위상 차이가 발생하면 실제 위상각 측정에 오류가 생기고, 결국 유효 전력, 무효 전력, 역률(PF) 측정에 오차가 발생합니다.

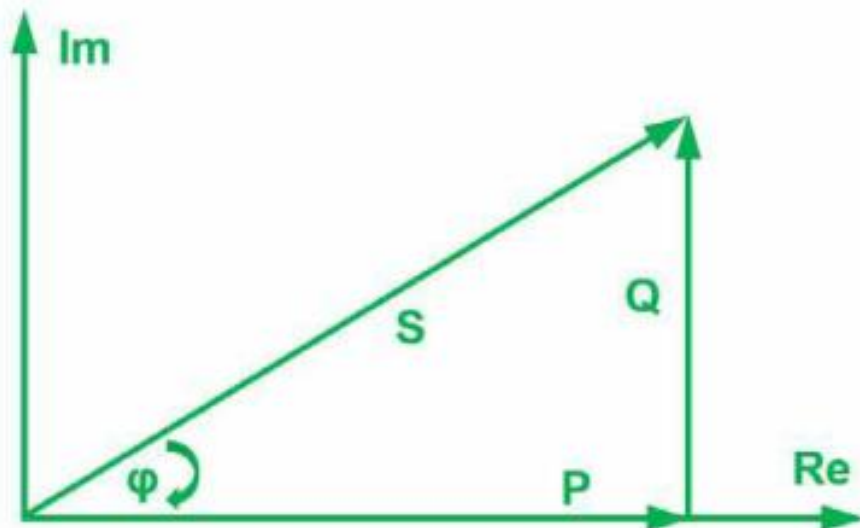


그림 13: 겉보기 전력(Apparent Power)과 유효 전력(Active Power) 간의 관계

결론

이 가이드는 스위칭 전원 공급 장치의 전력 품질, 변환 효율, 그리고 리플에 대한 영향과 테스트 방법을 소개합니다. 오실로스코프와 DC 전자 부하를 사용하면 전원 품질 테스트를 빠르게 완료할 수 있으며, 기존의 전력 분석기와 복잡한 소프트웨어 작업을 사용하는 방식에 비해 테스트 비용을 크게 줄일 수 있습니다.

다음 장비는 전력 품질, 변환 효율, 리플 테스트를 위해 권장됩니다:

Test 항목	장비	요구사항
Power Quality & Power Efficiency	오실로스코프: MSO5000, MSO8000, DHO/MHO5000, MHO2000	Power 분석 지원 ≥1Mpts FFT
	DC 로드 : DL3000	CC mode
	프로브 : RP1000D(voltage) RP1000C(current)	
	캘리브레이션 Fixture : RPA246	전류 및 전압에 대한 위상 보정
Ripple Test	오실로스코프: MSO5000, MSO8000, DHO/MHO5000, MHO2000	Ripple 분석 메모리 기반 측정
	passive high resistance probe : PVP2000	X1 attenuation Ground spring