

TRENCHSTOP™ 5 IGBT를 이용함으로써 용접 장비의 전력 밀도 향상

TRENCHSTOP™ 5 IGBT는 이전 세대 IGBT와 비교해서 더 높은 스위칭 주파수로 동작하면서 향상된 성능을 달성한다. 이들 IGBT 제품은 적절한 레이아웃으로 설계함으로써 스위칭 주파수가 최대 100kHz에 이르는 기존 고전압 MOSFET을 곧바로 교체할 수 있다. 높은 스위칭 주파수로 동작함으로써 필요한 자기 소자의 크기와 커패시터 수를 줄일 수 있다.

글/Fabio Brucchi, 인피니언 테크놀로지스 오스트리아
Forrest Zheng, 인피니언 테크놀로지스 차이나

특히 신흥 개발국과 같은 지역에서 낮은 가격대의 이 동형 용접 장비에 대한 수요가 빠르게 늘어나고 있다. 전력 용량이 1.5kW에서 최대 6kW에 이르는 MMA (Manual Metal Arc) 및 TIG(Tungsten Inert Gas) 타입 장비에는 이상적인 IGBT와 MOSFET이 널리 사용되고 있다. 대개 이들 장비는 전류 모드 PWM 제어와 TTF (Two Transistors Forward), 하프 브리지(Half Bridge), 풀 브리지(Full Bridge) 같은 단순한 토폴로지, 그리고 제로 전류 스위칭(Zero Current Switching) 턴오프와 하드 스위칭 턴오프를 이용한다. 또한 이러한 구성으로 성능을 향상시키고 시스템 차원에서 비용을 낮추기 위해서 높은 주파수를 이용하는 것이 설계 상의 대세가 되고 있다. 인피니언의 TRENCHSTOP™ 5 IGBT 기술은 턴오프 손실을 현저히 낮춤으로써 용접 장비의 이와 같은 까다로운 기술적 요구를 완벽하게 충족하는 강력한 솔루션을 제공한다.

TRENCHSTOP™ 5 IGBT는 이전 세대 IGBT와 비교해서 더 높은 스위칭 주파수로 동작하면서 향상된 성능을 달성한다. 이들 IGBT 제품은 적절한 레이아웃으로 설계함으로써 스위칭 주파수가 최대 100kHz에 이르는 기존 고전압 MOSFET을 곧바로 교체할 수 있다. 높은 스위칭 주파수로 동작함으로써 필요한 자기 소자의 크기와 커패시터 수를 줄일 수 있다. 다만 di/dt와 dv/dt가 더 높음으로써 턴오프 시의 고전압 오버슈트, 턴온 시의 발진, EMI

성능의 저하 같은 문제가 발생할 수 있는 가능성이 있기 때문에 모든 경우에 이전 세대 IGBT를 '플러그-앤-플레이' 방식으로 곧바로 교체할 수 있는 것은 아니다.

하프 브리지 토폴로지의 향상

턴오프 손실을 현저히 낮춤으로써 컨버터 일차 측을 기계적으로 크게 변경할 수 있으므로 기계적 솔루션을 간소화할 수 있다. 그럼으로써 또한 PCB 레이아웃과 게이트 구동 디자인을 추가적으로 더욱 더 간소화할 수 있다. 그러므로 장비의 크기와 무게를 상당히 줄일 수 있다. **그림 1**은 이러한 취지로 설계한 용접 장비 데모를 보여준다. 이 데모는 단상 4.5kW 하프 브리지 MMA/TIG 용접 장비다. 이 예의 경우에는 전력 루프와 신호 루프 둘 다 레이아웃을 적절히 향상시킴으로써 스위치당 2개 40A/600V IGBT를 단일의 IKW50N65H5 TRENCHSTOP™ 5 IGBT로 교체할 수 있다.

뿐만 아니라 스위칭 손실과 전도 손실을 낮춤으로써 디바이스 온도를 크게 낮추며 절연 호일을 사용하는 것도 가능하다. **그림 2**는 각기 다른 기술을 적용한 인피니언 IGBT의 케이스 온도 프로파일을 보여준다. 각기 다른 기술 간에 케이스 온도가 눈에 띄게 차이가 난다는 것을 알 수 있다. 특히 TRENCHSTOP™ 5는 이전 세대 TRENCHSTOP™

실리콘에 비해서 40도 가까이 더 우수하다는 것을 알 수 있다.

이 테스트에서는 게이트 저항 $R_{G(off)}$ 의 크기를 선택해서 턴오프 시에 전압 오버슈트가 항복 전압의 80퍼센트 이내가 되도록 하고 그림으로써 컬렉터-이미터 전압을 최대 $V_{CE} = 520V$ 로 제한하도록 하였다. 보드의 부유 인덕턴스가 낮을수록 지정된 한계에 적합하게 선택할 수 있는 $R_{G(off)}$ 가 낮아진다. 이 테스트는 또한 최대 게이트-이미터 전압 발진을 고려하였다. 이 테스트에서 허용 가능한 수치는 200ns 미만에 대해서 $-25V < \Delta V_{GE(max)} < 25V$ 였다.

아니면 수동 게이트 네트워크를 조정하여 TRENCHSTOP™ 5를 비최적화 레이아웃에서도 이용할 수도 있다. 이 경우에는 턴오프 시에 더 높은 게이트 저항을 발생시키고 C_{GE}/R_{CE} 게이트 클램핑 구조를 활용함으로써 역시 V_{CE} 와 V_{GE} 오버슈트를 허용 가능한 수치 이내로 유지할 수 있다. 하지만 이렇게 하면 TRENCHSTOP™ 5 IGBT를 이용하는 것의 이점이 크게 줄어든다. 그러므로 이 점에 있어서 적절한 레이아웃이 중요하다는 것을 다시 한 번 확인할 수 있다.

전력 보드 상의 부유 인덕턴스를 추가적으로 더 낮출 수 있는 방법은 TRENCHSTOP™ 5 IGBT 기술을 절연 기판(isolated substrate) 상에 표면실장 어셈블리로 이용하는 것이다. 그러면 상측과 하측 IGBT에 단일 히트 싱크를 이용함으로써 좀더 컴팩트한 솔루션을 달성할 수

그림 1. (a) 4.5kW 하프 브리지 용접 장비 데모와 (b) 관련 파형이다(10μs/div). 녹색 파형은 IGBT 컬렉터 전류이고(20A/div), 파란색 파형은 IGBT V_{CE}이고(100V/div), 보라색 파형은 출력 전류이고(100A/div), 빨간색 파형은 IGBT V_{GE}이다(10V/div).

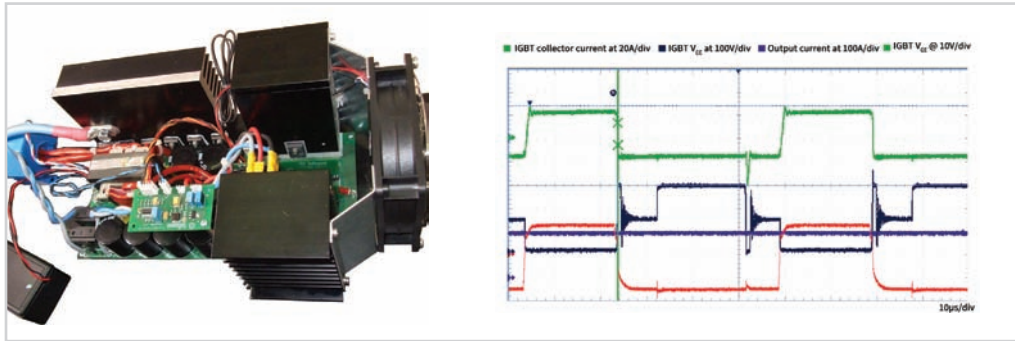


그림 2. 4.5kW 용접 장비 데모로 각기 다른 인피니언 IGBT 제품을 이용했을 때의 열 결과

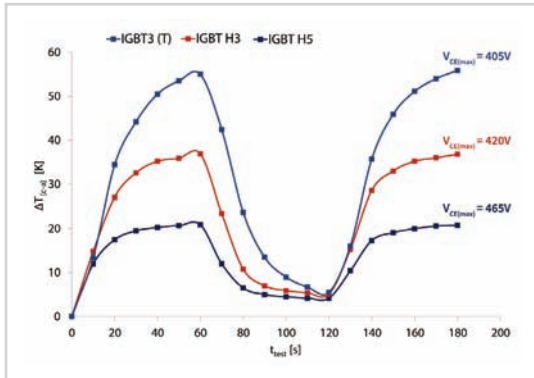
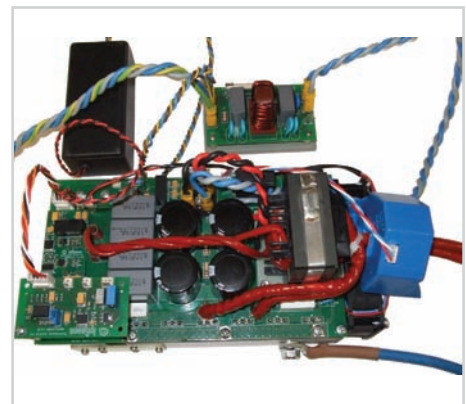


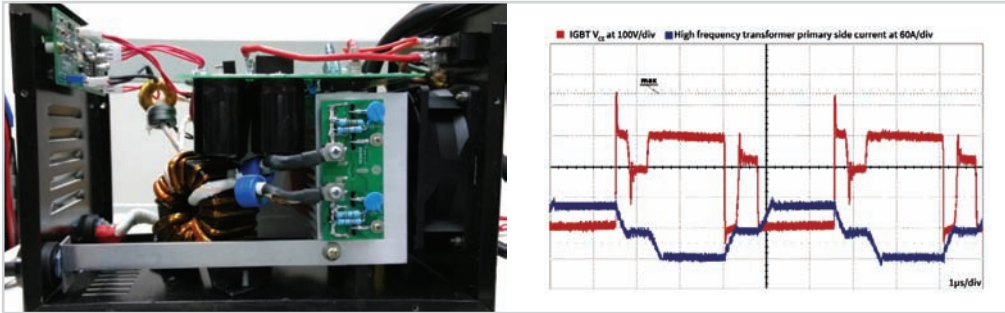
그림 3. 또 다른 4.5kW 하프 브리지 용접 장비 데모



있다. 그러려면 IMS나 Al2O3 세라믹 같은 특수한 IGBT 절연에 추가적인 강화 절연을 필요로 한다. 기술적으로 이와 같이 변경함으로써 전체적 장비의 크기와 무게를 크게 줄일 수 있다. 그림 3은 바로 그러한 예이다. 이 데모는 또 다른 하프 브리지 MMA/TIG 용접 장비 데모로서, 이 새로운 디자인을 적용함으로써 앞서 데모에 비해서 크기는 35퍼센트 줄이고 무게는 15퍼센트 낮출 수 있다.

이 디자인은 40nH의 전체적인 부유 인덕턴스를 달성할 수 있으며 다른 방식의 패키지 어셈블리에 풀 브리짓오폴로지 디자인을 적용하면 이 수치를 추가적으로 20nH 더 줄일 수 있다. 부유 인덕턴스를 낮춤으로써 시스템을 100kHz가 넘는 스위칭 주파수로 실행할 수 있으며 그림으로써 단일 히트 싱크를 이용할 수 있으므로 전력 밀도를 높이고 트랜스포머 크기와 DC-Link 커패시터 수를 줄일 수 있다.

그림 4. (a) 3.5kW 풀 브리지 용접 장비 데모와 (b) 관련 파형이다(2μs/div). 빨간색 파형은 IGBT V_{CE}이고(100V/div), 녹색 파형은 고주파 트랜스포머 일차 측 전류이다(20A/div).



풀 브리지 토폴로지의 향상

그림 4는 또 다른 디자인 예로서 3.5kW 풀 브리지 고주파 용접 장비다. 이 디자인의 취지는 풀 브리지 토폴로지에서 TRENCHSTOP™ 5를 이용해서 기존 MOSFET을 대체함으로써 제조 원가를 낮추고 더 용이한 제조가 가능하고 신뢰성을 높일 수 있다는 것을 보여주는 것이다.

이 사례에서도 역시 TRENCHSTOP™ 5 IGBT 기술이 턴오프 손실이 낮아졌다는 점이 이 새로운 디자인을 적용해서 시스템 아키텍처를 향상시킬 수 있는 중요한 요인이 되고 있다. 이와 더불어서 IGBT가 MOSFET에 비해서 전류 전달 능력이 더 뛰어나다는 점까지 더해짐으로써 3개의 기존 고전압 MOSFET을 단 하나의 IGBT 디바이스로 교체할 수 있다. 디바이스 수가 줄어들어서 전력 보드 위에 드라이버 보드를 필요로 하는 것이 아니라 전력 스테이지와 구동 스테이지를 하나의 소형화된 크기의 보드로 간편하게 통합할 수 있다. 그럼으로써 이 새로운 디자인은 기존의 통상적인 방식에 비해서 필요한 총 보드 면적을 1/3 줄일 수 있다. 뿐만 아니라 전력 루프 상의 기생 인덕턴스를 크게 낮춤으로써 TRENCHSTOP™ 5를 더 높은 di/dt로 턴오프할 수 있으며 그러면서도 전압 오버슈트를 권장된 수치 이내로 유지할 수 있다.

이 데모 디자인은 아키텍처를 간소화하면서 동시에 전력 밀도는 높이도록 개발되었다. 이 하드웨어 디자인은 어셈블리 공정을 줄임으로써 양산 시의 제조를 크게 향상시킬 수 있으며 시스템 원가를 낮출 수 있다는 것을 잘 보여준다. 부품 수를 줄이고 레이아웃을 간소화하므로 다른 통상적 솔루션에 비해서 원자재 비용을 30퍼센트 낮추고, 크기

를 30퍼센트 줄이고, 무게를 35퍼센트 낮출 수 있다. 이 풀 브리지 용접 플랫폼을 100kHz로 실행하는 간단한 벤치마크 테스트를 실시함으로써 고주파 동작으로 이 디자인의 성능을 확인하였다. 이 테스트는 케이스와 주변부 사이에 동일

한 IGBT 온도 스윙을 유지하면서 최대 출력 전류 용량을 측정하는 것이었다. 이와 동시에 시스템 효율과 최대 컬렉터-이미터 및 게이트-이미터 전압 오버슈트를 모니터링하였다. 올바른 비교를 위해서 시스템 불안정성에 도달하거나 결함이 발생할 때까지 구동 셋업을 동일하게 유지하였다. 표 1은 이 테스트의 결과를 요약하고 있다.

표 1. 풀 브리지 데모의 벤치마크 테스트 결과

| Competitor | Max output current | Efficiency at DC output current | V _{CE} overshoot at DC output current | Gate network |
|---------------|--------------------|---|--|---|
| TRENCHSTOP™ 5 | 200A | 84.7% @100A 83.0% @160A 83.0% @200A | 440V @200A 431V @160A 420V @120A | R _{GSon} =6.2Ω R _{GSoff} =20Ω C _{GS} =20pF |
| Competitor 1 | 150A | 82.1% @150A | 406V @160A | R _{GSon} =6.2Ω R _{GSoff} =20Ω C _{GS} =20pF |
| Competitor 2 | 120A | 80.4% @120A | 387V @120A | R _{GSon} =33Ω R _{GSoff} =20Ω C _{GS} =1nF |

100kHz 동작 주파수일 때 TRENCHSTOP™ 5는 다른 디바이스들이 달성하지 못하는 성능을 나타내고 있다. H5 IGBT는 가장 근접한 솔루션에 비해서 30퍼센트 더 높은 출력 전류를 제공하고 두 번째로 근접한 솔루션에 비해서는 70퍼센트 더 높은 출력 DC 전류를 제공하며, 또 한편으로는 구동 파형을 매끄럽게 하기 위해서 추가적인 작업을 필요로 하지 않는다. H5 IGBT는 용접 장비의 최대 출력 전류 레벨일 때 다른 솔루션들에 비해서 1~3퍼센트 더 높은 효율을 달성하고 있다. 그럼으로써 해당 용접 장비로 더 높은 에너지 효율 등급을 달성할 수 있다. 하프 브리지 디자인의 경우에서처럼 다소 높은 컬렉터-이미터 전압 오버슈트는 대부분 경우에 문제가 되지 않는다. 왜냐하면, 첫째, 이 오버슈트는 절대 값이 200A일 때 430V로 제한되고, 둘째, H5 IGBT는 다른 대부분 디바이스와 비교해서 50V 추가적인 항복 전압 마진을 제공하기 때문이다. **SN**