

1kW Full-bridge LLC 보드를 통한 TO-247과 HU3PAK 상단 냉각 SMD 패키지 SiC MOSFET의 전기적 열적 성능 비교

전인웅, 김영곤
에스티마이크로일렉트로닉스 코리아

Comparison of thermal dissipation characteristics of the Top-Side Cooling SMD Package HU3PAK and TO-247 through the 1kW Full-bridge LLC

Inung JEON, Younggon KIM
Power & Discrete Marketing and Applications APeC region, STMicroelectronics Korea

ABSTRACT

TO-247 패키지는 전력 반도체 분야에서 널리 사용되어온 패키지로, 그 신뢰성과 방열 성능이 오랫동안 입증되어왔다. 최근에는 상단 냉각(Top side cooling) SMD 패키지인 HU3PAK이 등장하여 TO-247과 비교되고 있다. HU3PAK은 공간 절약과 상단 냉각을 통한 향상된 방열 성능을 제공하여 고밀도 설계에 적합한 강점을 가지고 있다. 본 논문에서는 두 패키지를 실제 1kW Full-bridge LLC 컨버터에 실장하여 TO-247과 HU3PAK 패키지의 열적 성능을 비교 분석하고 각 패키지의 효율성과 열 관리 능력을 평가하였다.

1. 서론

TO-247은 through hole 타입 패키지 특성상 PCB에 실장 시 리드 포밍, 리드 커팅, 방열판 고정과 같은 많은 수작업이 필요하며 이는 제품의 제조단가 상승, 제작 시간 증가, 품질 균일성 저하 등의 원인이 되고 있다. 최근, 이러한 TO-247의 한계를 극복하기 위한 대안으로 HU3PAK 상단 냉각 SMD 패키지가 주목받고 있다. HU3PAK은 표면 실장 기술을 사용하여 PCB의 표면에 실장되며, 상단 냉각(top-side cooling) 방식으로 열을 PCB면이 아닌 방열판으로 효과적으로 방출할 수 있다^[1]. 이 패키지는 공간 절약과 제조 공정 자동화에 유리하며, 수작업이 줄어들어 제조 비용을 절감할 수 있다. 또한, 상단 냉각을 통한 향상된 열 관리 덕분에 고전력 밀도가 요구되는 응용분야에서도 우수한 성능을 발휘할 수 있다.

따라서, HU3PAK과 TO-247 패키지 간의 전기적 및 열적 성능을 비교 분석하는 것은 매우 중요하다. 특히, SiC MOSFET과 같은 고성능 전력 반도체를 사용하는 환경에서는 패키지의 성능 차이가 시스템 전체의 효율과 신뢰성에 큰 영향을 미치기 때문이다^[2]. 본 연구에서는 1kW Full-bridge LLC 보드에 각각의 패키지를 실장하여 두 패키지의 전기적 성능과 방열 성능을 실험적으로 평가하였다.

2. Full-bridge 1kW LLC 컨버터를 통한 TO-247 패키지와 상단 방열 패키지의 성능 비교

Full-bridge LLC 컨버터는 전력변환 장치에서 널리 사용되는 대표적인 고효율 토폴로지이다. 따라서 본 논문에서는 두 패키지 간의 열적인 성능을 비교하기 위하여 1kW LLC 보드에 적용하였다. 실험에 사용된 MOSFET은 자사 ST의 HIP-247인 SCT040W120G3-4 제품을 사용하였다. 그리고 본 논문의 비교실험에 사용된 상단 방열 패키지로는 역시 자사 ST의 HU3PAK 패키지인 SCT040HU120G3 제품을 사용하였다. 두 패키지 간의 열적 성능을 비교하기 위해서는 동일한 전기적 특성이 전제되어야 한다. 따라서 이를 구현하기 위하여 kelvin source핀이 있는 두 가지의 패키지를 사용하였다. 또한 동일한 방열판, 동일한 TIM(Thermal Interface Material)을 사용하였고 또한 동일한 위치에 MOSFET을 실장 함으로써 실험에서의 변수를 제한하였다.

2.1. TO-247 패키지와 상단 방열 패키지의 전기적인 성능 비교

SiC MOSFET의 전기적 특성에서 방열성능 비교에 가장 큰 영향을 미치는 항목은 바로 전력손실 부분이다. 소자에서 발생하는 전력손실은 소자 발열의 원인이기 때문에 최대한 동일한 소자로 선정하는 것이 중요하다. 실험에 사용될 SiC MOSFET의 데이터시트에서 제공되는 스펙을 비교하면 아래 표1과 같다.

Package	R _{th(JC)}	R _{DS(ON)}	E _{ON}	E _{OFF}
TO-247	0.56°C/W	40mΩ	273uJ	100uJ
HU3PAK	0.5°C/W	40mΩ	267uJ	117uJ

표1. 각 패키지별 데이터시트상 주요 항목

위의 표1에서 볼 수 있듯이 스위칭 손실을 표기한 E_{ON}과 E_{OFF}의 경우 두개 파라미터의 합이 TO-247 패키지는 373uJ, HU3PAK은 384uJ로 11uJ의 차이 있지만 거의 비슷한 손실을 보여준다. 도통 손실의 경우는 R_{DS(ON)}으로 비교할 수 있으며 두 값은 40mΩ으로 서로 동일 하다. 또한 소자의 방열성능이라고 할 수 있는 열저항 값은 상단 방열 패키지인 HU3PAK의 값이 TO-247 패키지 소자 보다 0.6°C/W 만큼 더 우수한 것을 알 수 있다.

2.2. 1kW Full-bridge LLC converter 보드를 통한 전기적 성능 비교

두 개의 패키지의 방열 성능을 비교하기 위해서는 전력손실이 동일해야 한다. 따라서 본 논문에는 1kW LLC 보드에 두개의 패키지를 각각 실장하여 도통손실과 스위칭 손실을 비교하였다.

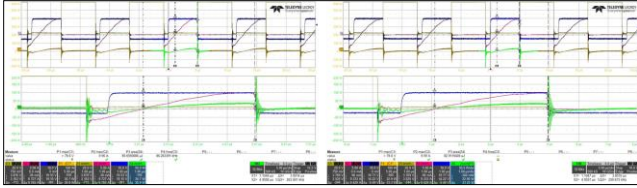


그림1-1. HU3PAK 도통 손실. 그림1-2. TO-247 도통 손실.

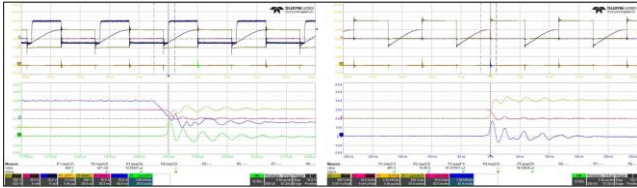


그림2-1. HU3PAK 스위칭 손실. 그림2-2. TO-247 스위칭 손실

Package	도통 손실	스위칭 손실	Test condition
TO-247	82.91mJ	14.64mJ	Vin: 400Vdc, Vout: 428Vdc/2.35A Pout: 1005.8W Fsw: 87kHz,
HU3PAK	85.66mJ	13.65mJ	

표2. 1kW Full-bridge LLC 컨버터에서의 각 패키지별 손실 측정 결과

표2에서 볼 수 있듯이 실제 손실 파형을 측정한 결과로부터 두 소자가 거의 비슷한 특성을 가지고 있다 것을 알 수 있다.

2.3. 1kW Full-bridge LLC converter 보드를 통한 방열 성능 비교

각 패키지의 방열 성능을 비교하기 실험에 사용된 TIM과 방열판의 스펙은 아래와 같다.

방열판: SK92/100SA, 10*10*4cm, 1.4° C/W
TIM(thermal interface material): 3.0W/mk, 2T

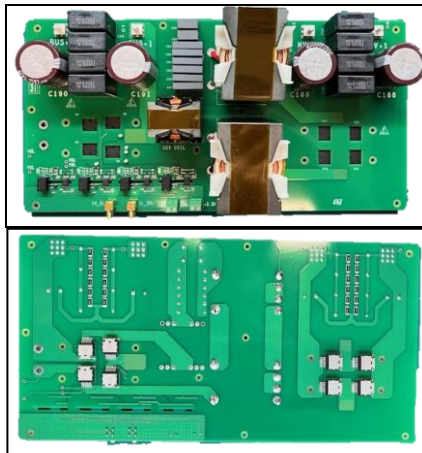


그림3. 1kW Full-bridge LLC 컨버터 보드

그림3은 실험에 사용된 1kW Full-bridge LLC 컨버터이다. PCB의 바닥면에 HU3PAK SiC MOSFET과 SiC Diode가

실장되어 있다. 기존 SMD 패키지와 달리 HU3PAK은 TIM을 통하여 바닥면의 기구물이나 방열판으로 소자에서 발생하는 열을 방출한다.

실장된 각각의 SiC MOSFET을 1kW 부하조건에서 2시간동안 동작 시켜 방열판 온도가 완전히 포화된 후에 소자에서 발생하는 온도를 열화상 카메라로 측정하였다.

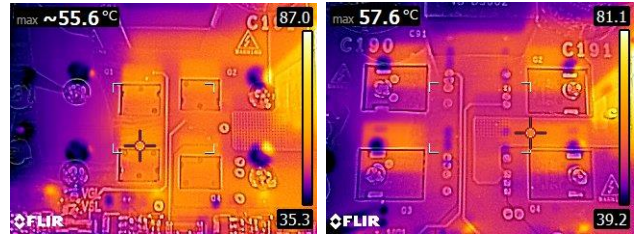


그림4-1. HU3PAK 케이스 온도 그림4-2. TO-247 케이스 온도

그림4-1과 4-2에서 볼 수 있듯이 HU3PAK의 최대 온도는 55.6° C로 측정되었다. TO-247 패키지의 최대온도는 57.6° C로 측정되었다.

3. 결론

본 논문에서는 상단 방열 SMD 패키지인 HU3PAK과 through hole 타입의 패키지인 TO-247 패키지를 실제 Full-bridge LLC converter 회로에 실장하여 방열 성능을 비교하였다. 비교 측정결과 HU3PAK이 TO-247 패키지에 비하여 케이스온도가 2° C 더 낮게 측정되었다. 이 측정 결과로부터 상단 방열 SMD 패키지가 방열 측면에서 기존의 TO-247 패키지와 동등 또는 그 이상이라는 것을 알 수 있다. 또한 동일한 체결 방식을 사용할 경우 HU3PAK은 실장 면적이 35x43mm이고 TO-247은 실장면적이 43x75mm이므로 HU3PAK을 사용할 경우 TO-247에 비하여 MOSFET 체결면적을 63% 감소시킬 수 있다. 이를 통해 ST社의 상단 방열 SMD 패키지인 HU3PAK이 기존 SMD 패키지의 단점이었던 방열 문제를 보완하여 고전력밀도를 요구하는 대전력 전력변환장치에 적합한 패키지 형태라는 것을 실험을 통하여 검증하였다.

이 논문은 STMicroelectronics Korea의 연구비 지원에 의하여 연구되었음

참 고 문 헌

[1] Marco Papasero, " Maximizing performance and power density in PFC by using SMD packages with top-side cooling", AEIT International Annual Conference (AEIT), 2022.
[2] Sebastian Rode, "Thermal Design Comparison of Various Natural Convection Cooling Concepts of Discrete SiC-MOSFETs", 23rd European Conference on Power Electronics and Applications (EPE'21 ECCE Europe), 2021