

Al₂O₃알루미나 방열 소재를 이용한 IGBT 온도 개선

이희준*, 박중석**, 박상훈*, 백명기*
한국전기연구원*, 진성 I&D**

IGBT Temperature Improvement Using Al₂O₃ Alumina Heat Dissipation Material

Hee-Jun Lee*, Sang-Hun Park*, Myung-Ki Baek*, Jung-Seok Park**
Korea Electrotechnology Research Institute*, JinSung I&D**

ABSTRACT

본 논문에서 구성된 전력변환장치의 방열 시스템은 히트싱크와 냉각팬을 이용한 공랭식 냉각방식을 사용하며, TO-247 모듈 타입의 전력반도체로부터 발생된 열을 주변으로 방출한다. TO-247 모듈은 히트싱크 사이에 절연 전압이 높은 TIM(Thermal Interface Material)을 필수로 사용되며, 절연 전압이 높은 TIM은 열전도가 매우 낮아 IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)에서 발생된 열을 방열 한계로 인하여 온도가 상승하며 전력변환장치의 출력 성능이 제한된다. 따라서 전력변환장치의 방열성능 개선 및 출력 성능을 높이기 위하여 절연전압과 전도도가 높은 Al₂O₃ 알루미나 방열 소재를 설계 및 적용하여 IGBT 온도를 개선하고 검증하였다.

1. 서 론

가전기기 및 전자기기 제품에 사용되는 전력변환장치는 IGBT와 MOSFET과 같은 전력반도체 소자를 이용하여 제품에 요구되는 전력변환으로 제품의 성능 및 효율을 높이거나 제품의 소형 경량화를 위하여 사용된다. 전력변환 과정에서 전력반도체 소자의 스위칭 손실 및 도통 손실로 인하여 열이 발생되고 발생된 열은 제품의 신뢰성 및 성능 저하에 심각한 요인이 된다.^[1] 이러한 문제 해결을 위하여 전력변환장치의 방열 시스템은 필수 요소이다. 전력 밀도가 높은 전력변환장치의 경우 효과적인 방열을 위하여 PCB 레이아웃, TIM, 열전달 메커니즘을 고려하여 열 성능, 부품 크기, 비용 간의 절충이 필요하다. 논문에서의 전력변환장치 방열 시스템은 히트싱크와 냉각팬을 이용한 공랭식 방열 시스템을 적용하였으며, 전력반도체는 TO-247 모듈 타입으로 구성하였다. TO-247 모듈 타입의 전력반도체는 히트싱크와 결합 시 수 kV 이상의 절연 전압을 갖는 절연지를 사용하며, 절연 전압이 높은 절연지는 열전도가 낮아 IGBT 온도가 상승하는 결과를 초래한다. 따라서 높은 절연 전압과 열전도를 갖는 TIM 중 Al₂O₃ 알루미나 방열 소재를 적용하여 방열 설계가 적합하지 확인하고자 한다.

본 논문에서는 전력변환장치의 방열성능 개선 및 출력 성능을 높이기 위하여 높은 절연전압과 열전도를 갖는 TIM 중 Al₂O₃ 알루미나 방열 소재를 적용하여 IGBT 온도를 개선하였다.

2. 시스템 구성

2.1 Induction Heating 전력변환장치 구조

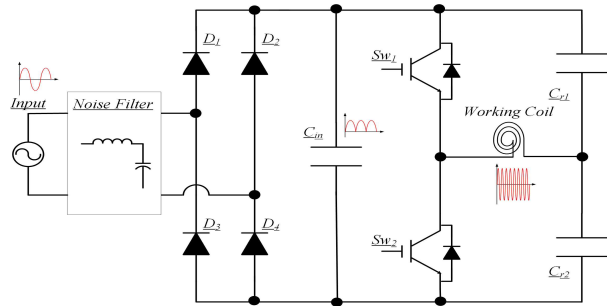


그림 1 Half Bridge Inverter

그림 1은 Induction Heating용 하프 브릿지 인버터이다. 그림 1의 시스템 구성은 Noise Filter, 다이오드 정류기, 하프 브릿지 인버터로 구성되어 있으며, IH용 하프 브릿지 인버터의 제어기는 입력 전력 제어기와 전류 제어기로 구성되어 있다. 인버터는 입력 전력 제어를 통하여 인버터의 효율을 제외한 만큼 부하 측에 에너지를 공급하고 있으며 출력 부하 혹은 원하는 출력에 따라 주파수 변조를 통하여 시스템 전력을 제어한다. 인버터의 동작은 교류 입력 전압을 다이오드 정류기를 통하여 교류에서 직류로 변환된다. 입력 커패시터 C_{in}에는 전파 정류된 직류 전압이다. 이후 하프 브릿지 인버터는 전력반도체의 스위칭 동작에 따라 코일과 공진 커패시터의 직렬 공진으로 출력을 증폭하여 부하측에 전달한다. 이때 공진을 통하여 스위치의 ZVS(Zero Voltage Switching) 조건에 따라 IGBT는 턴-온시 스위칭 손실을 줄인다. 하지만 입력 커패시터의 걸린 전압이 낮을 경우 ZVS가 발생하지 않는다. 이에 따라 스위칭 손실은 증가하게 된다.

2.2 전력반도체 방열 구조

그림 2는 기존 방열 시스템 구조이다. 하프 브릿지 인버터의 전력반도체는 TO-247 모듈타입의 IGBT를 사용한다. TO-247 모듈의 경우 뒷면이 오픈되어 컬렉터와 연결되어 있으며 히트싱크와 연결을 위해서는 절연은 필수이다. IGBT에서 발생된 열을 히트싱크에 전도를 높이기 위해서 절연 재질의 TIM 선정이 매우 중요하며, 하프 브릿지 인버터에서 턴-오프 시 IGBT의 걸리는 전압은 공진전압 + 입력전압이 인가되며 오프

작에 따른 IGBT Peak 전압을 고려하여 절연 내전압이 6000V_{ac} 갖는 절연지를 사용한다. 하지만 절연 내전압이 높을수록 절연지의 열전도는 낮아 방열 성능이 떨어지는 문제점을 야기한다. 이를 해결하기 위해서는 Fan의 성능을 높이거나, 열전도 높은 재질을 이용하여 열이 집중되어 생기는 열 집중을 전체로 확산시키는 소재가 필요하다.

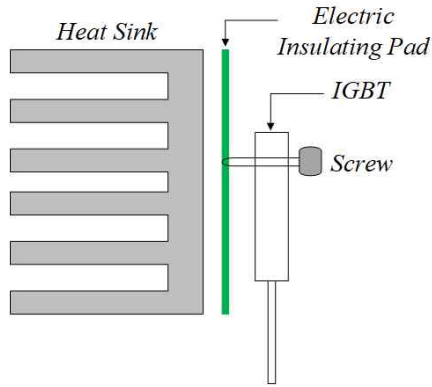


그림 2 기존 방열 시스템 구조

2.3 Al₂O₃ 산화 알루미늄 PAD

산화 알루미늄은 부도체인 절연 특성을 갖는 세라믹으로서 루비, 사파이어와 동일한 α-Al₂O₃의 결정 구조를 갖고 있어 알루미늄 이온과 산소이온의 강한 이온결합 형태의 결정으로 지극히 안정된 상태를 갖는다. 이에 따라 전기 절연체임에도 최대 30 W/m·K 으로 높은 열전도도를 가지며, 마찰계수가 낮고 화학적 안정성이 매우 높으며 물리적 성질이 우수하여 다양한 첨단 산업 분야에서 촉매제, 연마제, 전자재료의 소재로 응용되고 있다.^[2] 본문에 적용된 산화 알루미늄은 15.8 x 21mm x 1T 설계 하였으며, 열전도는 27W/mk로 제작하였다. 또한 산화 알루미늄과 히트싱크와의 체결 시 면 접촉이 아닌 선 혹은 점 접촉이 되어 열전도가 떨어지는 현상이 발생한다. 이에 따라 필러를 이용하여 도포 후 열전도 효과를 극대화하였다. 표 1은 절연지와 산화 알루미늄의 성능 비교를 나타낸다.

표 1 TIM 성능 비교

| Parameter | Insulating PAD | Alumina PAD |
|------------------------------|----------------|-------------|
| Dielectric Breakdown Voltage | 6kV | 8.5kV/mm |
| Volume Resistivity | 1012 Ω cm | 1014 Ωcm |
| Flame Rating | V0 | V0 |
| Operating Temperature | -60~180°C | 1750°C |
| Standard Thickness | 0.152mm | 1mm |
| Thermal Conductivity | 1.1W/mk | Max 30W/mk |
| Cost | ₩ 120 | ₩ 260 |

3. 시험 결과

3.1 시스템 파라미터

본 논문에서는 Induction Heating용 하프 브릿지 인버터를 구성하여 IGBT 방열 성능을 검증하였다. 검증을 위한 시스템 주

요 파라미터는 표 2와 같다.

표 2 시스템 주요 파라미터

| Parameter | Value | Unit |
|--------------------|-------|-----------------|
| Rate Power | 3.2 | kW |
| Input Voltage | 220 | V _{ac} |
| Input Current | 15 | A |
| DC-link Cap | 6.0 | uF |
| Working Coil | 45 | uH |
| Resonant Capacitor | 0.39 | uF |

2.4 전력반도체 온도 결과

하프 브릿지 인버터의 냉각 시스템에서 TIM 성능 비교를 위하여 절연지와 산화 알루미늄을 변경하여 전력반도체 온도를 비교 실험하였다. IGBT는 ST社 650IHB65DF를 적용하였다. IGBT 1의 경우 방열 구조에 따라 IGBT 온도 변화가 크게 변화하지 않았다. 하지만 IGBT 2와 다이오드 브릿지의 경우 온도가 8도 이상의 차이가 발생하였다.

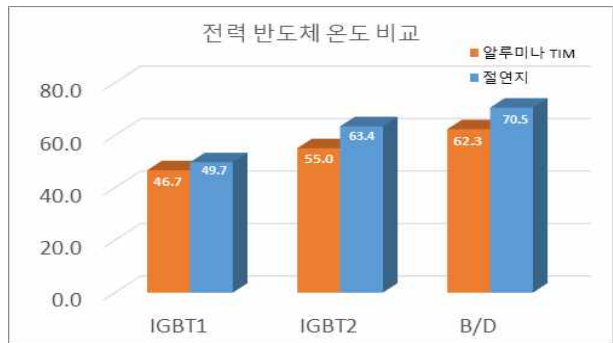


그림 3 전력반도체 온도 비교

4. 결론

본 논문에서는 IH용 하프 브릿지 인버터의 전력반도체에 대한 방열성능 개선을 위하여 높은 절연전압과 열전도를 갖는 Al₂O₃ 알루미늄 설계하여 적용하였다. 설계 시 IEC 규격을 인증받기 위하여 절연 및 면면거리 규격을 고려하였다. IGBT 절연 및 방열 재질로 적합함을 확인하였으며, 추 후 산업에서도 적용 및 확대될 것으로 기대된다.

본 논문은 2024년도 교육부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 지자체-대학 협력기반 지역혁신 사업의 결과입니다.(2021RIS-003)

참고 문헌

- [1] C.J Weng, "Advanced thermal enhancement and management of LED packages", ICHMT, Vol.36, No.3, pp. 245-248, 2009.
- [2] Jang, S.; Choi, E.J.; Cheon, H.J.; Choi, W.I.; Shin, W.S.; Lim, J.-M., "Fabrication of Al₂O₃/ZnO and Al₂O₃/Cu Reinforced Silicone Rubber Composite Pads for Thermal Interface Materials", MDPI Polymers, Vol 13, no 19, 2021.