

애플리케이션 노트 AN1402

Revision:	KOR01
발행일:	2022-10-14
작성자:	Ingo Staudt, Grady
결재자:	Peter Beckedahl, Kendrick

키워드: MiniSKiiP Dual, PCB 설계, 고전력 PCB

MiniSKiiP Dual – 활용, PCB 설계 권장사항 및 시험 결과

1. 일반	1
2. 시험 단계 1 – 단일 모듈 PCB	2
2.1 PCB 레이아웃	2
2.2 고전력 컨넥터	3
2.3 측정 설정 및 조건	4
2.4 측정 결과	5
3. 시험 단계 2 – 3-모듈 PCB	7
3.1 PCB 레이아웃	7
3.2 측정 설정 및 조건	9
3.3 측정 결과	9
4. PCB 설계 권장사항	11
4.1 요약	11
4.2 PCB 권장사항	11

이 애플리케이션 노트는 일반적인 2레벨 하프브리지(2개의 IGBT와 역병렬 환류다이오드, 모듈당 위상 레그 1개)를 포함하는 SEMİKRON 전력 모듈 MiniSKiiP Dual에 대한 정보를 제공하고 있습니다. 이 애플리케이션 노트는 MiniSKiiP Dual에 대해 실시한 고전력 시험에 대해 설명합니다. 몇 가지 PCB 설계 관련 권장 사항도 제시하고 있습니다. 다만, 여기에 제공된 정보는 완전하지는 않으며 적절하고 신뢰할 만한 설계의 책임은 사용자에게 있습니다.

1. 일반

MiniSKiiP Dual은 2개의 IGBT와 2개의 역병렬 환류다이오드로 구성된 1개의 2레벨 하프브리지만 구성입니다. 이 제품은 2가지 하우징 사이즈로 출시되고 있습니다(사이즈 2와 사이즈 3, 그림 1). 하프브리지 레이아웃 최적화를 통해 1200V의 반도체를 사용하여 최대 300A(하우징 사이즈 3)의 전류를 견딜 수 있습니다. 스위칭 주파수 및 냉각 성능에 따라 이 유형의 모듈로 최대 150Arms의 출력 전류가 가능합니다.

MiniSKiiP 모듈은 드라이브 보드와의 연결을 위한 매우 안정적인 스프링 접점을 가지고 있습니다. PCB에 모두 연결이 되어 있어 복잡한 구리 버스바 설계를 더 이상 사용할 필요가 없습니다. PCB는 DC 및 AC 전류를 전달할 뿐만 아니라 게이트 저항, 구동 장치나 심지어 마이크로컨트롤러 등 필요한 모든 회로와 함께 조립이 가능합니다.

MiniSKiiP Dual 모듈에 대해 발표한 높은 정격 전류에 대한 의구심을 해소하고 이같이 높은 전류가 표준 PCB에서 전도될 수 있음을 증명하고자 모듈과 접촉하는 어댑터 PCB를 생산하였습니다.

시험은 2가지 종류의 어댑터 보드 즉, 1개 모듈만 접촉하는 소형 PCB와 모듈 3개와 DC 링크 커패시터에 접촉하는 3상

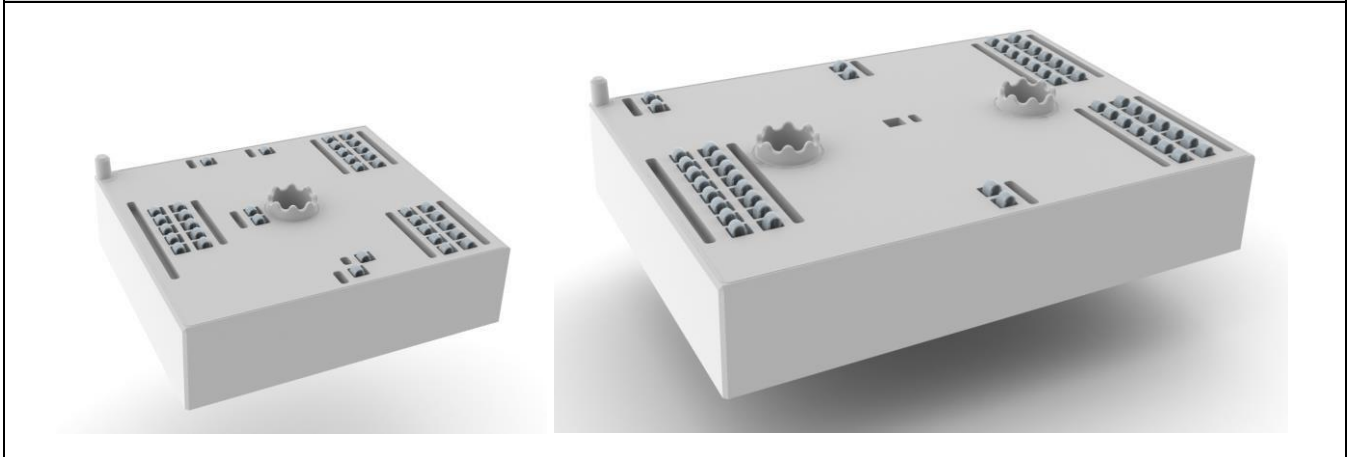
인버터 시스템이 있는 대형 PCB 1개에 대해 실시하였습니다. PCB와 부하 사이의 다양한 고전력 커넥터를 모두 한꺼번에 시험을 진행하였습니다.

열전대(Thermocouples)를 방열판에 고정하여 PCB 핫스팟(가장 뜨거운 모듈 주변) 및 방열판의 배기구(각각 시험 1단계의 마지막 방열판 또는 시험 2단계의 V상)의 기준 측정을 시행하였습니다.

이러한 측정 결과 모듈의 내장 온도 센서와 방열판 사이의 온도 편차가 5°C 미만으로 나타났습니다. 아울러 열화상 카메라를 통해 각 방향 1.3°C의 차이를 확인하였으며, 측정의 정확도를 판단하였습니다. 측정된 온도 범위는 50°C ~ 10°C이고 3% 미만의 오차로 편차는 무시할 수 있는 수준입니다. 이를 토대로 방열판 온도는 모듈의 내장 온도 센서로만 참조합니다.

이 애플리케이션 노트에 그 결과를 소개하고 있습니다.

그림 1: MiniSKiiP Dual 하우징 사이즈 2(좌) 및 하우징 사이즈 3(우)



2. 시험 1단계 - 단일 모듈 PCB

1차 시도로 MiniSKiiP 모듈 1개씩에만 접촉하는 PCB를 제작하였습니다.

2.1 PCB 레이아웃

MiniSKiiP 모듈당 1개의 PCB를 사용하여 다양한 기술을 시험하였습니다. 이 시험에서 SEMİKRON은 구리 두께가 210µm인 2-레이어 기판과 레이어당 구리 강도가 105µm인 4-레이어 기판을 제작하였으며, 두 가지 기술에 대해 동일한 PCB 레이아웃을 선택하였습니다.(따라서 구리 단면도는 동일합니다.)

그림 2: MiniSKiiP Dual 하우징 압력 리드



그림 2 는 MiniSKiiP 사이즈 3 모듈용 압력 리드 상단(좌) 및 하단(우)을 보여주고 있습니다. 이 사진에 따르면 압력 리드에서 PCB로 기계적 힘이 전도되는 많은 압력 지점이 있음을 알 수 있습니다. 모듈 전체에 가해지는 힘이 같게 하려면 이 압력 리드 아래에서 PCB 높이가 일정해야 합니다. 따라서 핀이 위치한 곳에 구리 패드를 배치하는 설계가

필요합니다. 자세한 내용은 MiniSKiiP 및 MiniSKiiP Dual에 대한 기술 설명 자료에 소개되어 있습니다. 그림 3에서 붉은색으로 표시된 부분이 이와 같은 핀위치를 고려하여 PCB 패턴을 설계한 부분입니다.

그림 3: 상단(TOP) 레이어 사진(좌)과 도면(우)

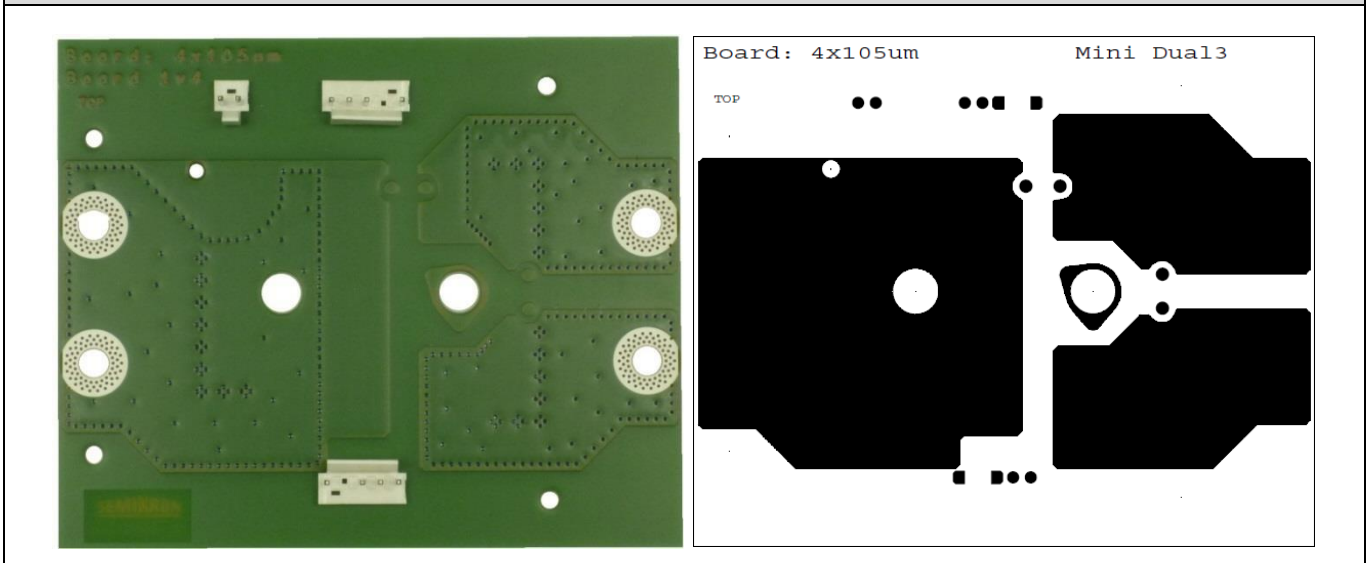


그림 3 은 MiniSKiiP 모듈 1개용 4-레이어 어댑터 PCB의 실물과 도면입니다. 사진(좌)는 상단 레이어를 사진(우)는 상단 레이어의 PCB 도면입니다.

그림 4: 내부(INNER) 레이어(좌)와 하단(BOTTOM) 레이어(우) 도면

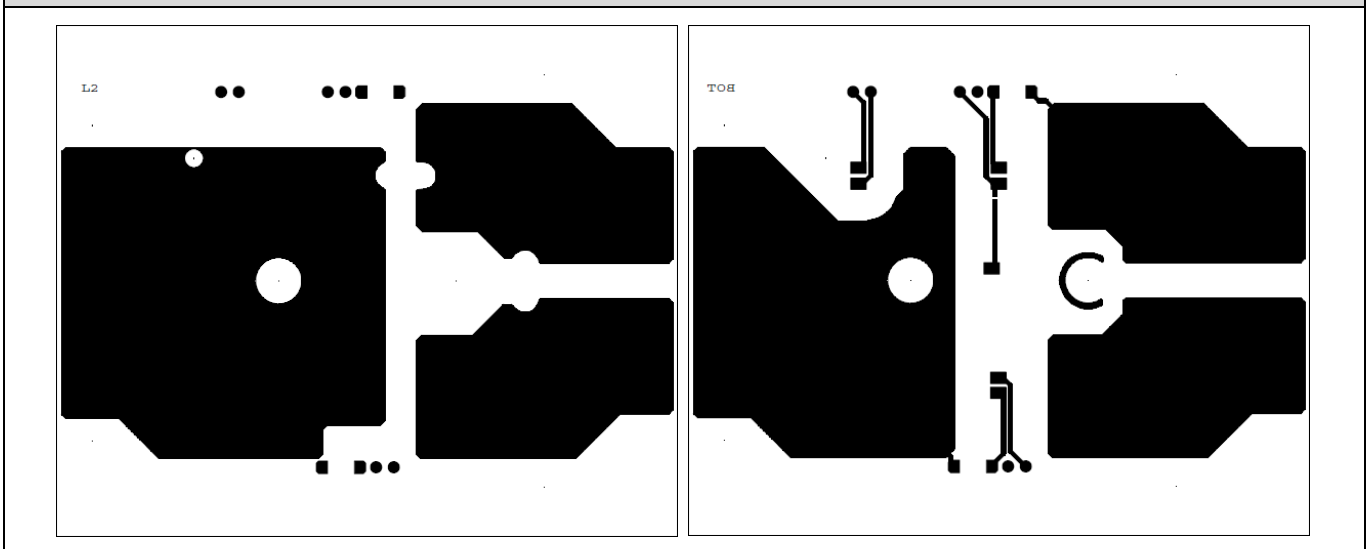


그림 4 는 내부 레이어(좌: 예시로 레이어 2만 있고 레이어 3은 합동(congruent)임) 및 하단 레이어(우)의 도면입니다. 연면 거리와 공간 거리를 유지하기 위해 게이트 및 이미터 스프링 접점이 AC 전위까지 어느 정도 거리를 요하는 경우 AC 상단 레이어 단면을 약간 줄여 설계해야 하는 것은 당연한 일입니다. 따라서 AC 측에서 전류를 전도하고 방사선(radiation)을 통해 열을 방출하기 위해 최대 가용 단면까지 설계하였습니다. 열 방출을 더욱 가속화하기 위해 DC 측의 구리 영역을 스프링 접촉 영역 너머까지 확장하여 설계하였습니다. 2-레이어 PCB의 레이어들은 4-레이어 PCB의 상단 및 하단 레이어와 동일합니다.

2.2 고전력 컨넥터

PCB와 케이블을 연결하는 4가지 고전력 커넥터에 대한 시험을 다음과 같이 실시하였습니다.

- 간단한 케이블 슈 연결용 주석 도금 홀(그림 5, 좌)
- 2개의 압입볼트(Würth Electronic, PowerOne Pin M6, 25 pins, 150A @ 85°C) (그림 5, 우)
- 2개의 SMD 볼트(Würth Electronic, PowerPlus SMD, with screw M6x16, 130A @ 85°C) (그림 6, 좌)

- 4폴 커넥터 블록(PHOENIX MKDSP 25/4-15,00, 75A per contact @ 85°C) (그림6, 우) PCB 온도가 최고 100°C까지 예상되어, 각 접점 유형별로 2개를 설치하였습니다. (2폴 커넥터 블록 대신 4폴 사용).

그림 5: 주석 도금 마운팅 홀(좌)과 압입볼트(우)

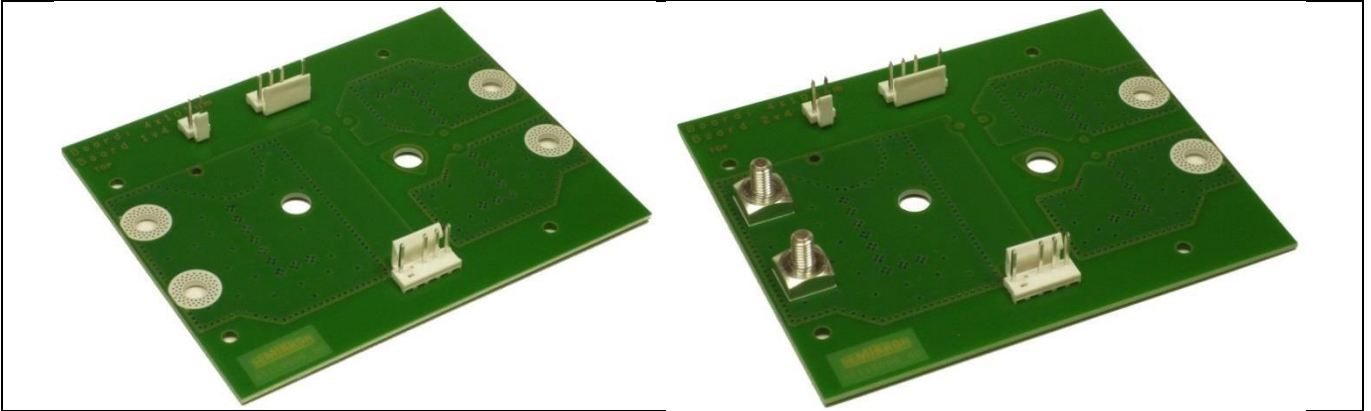
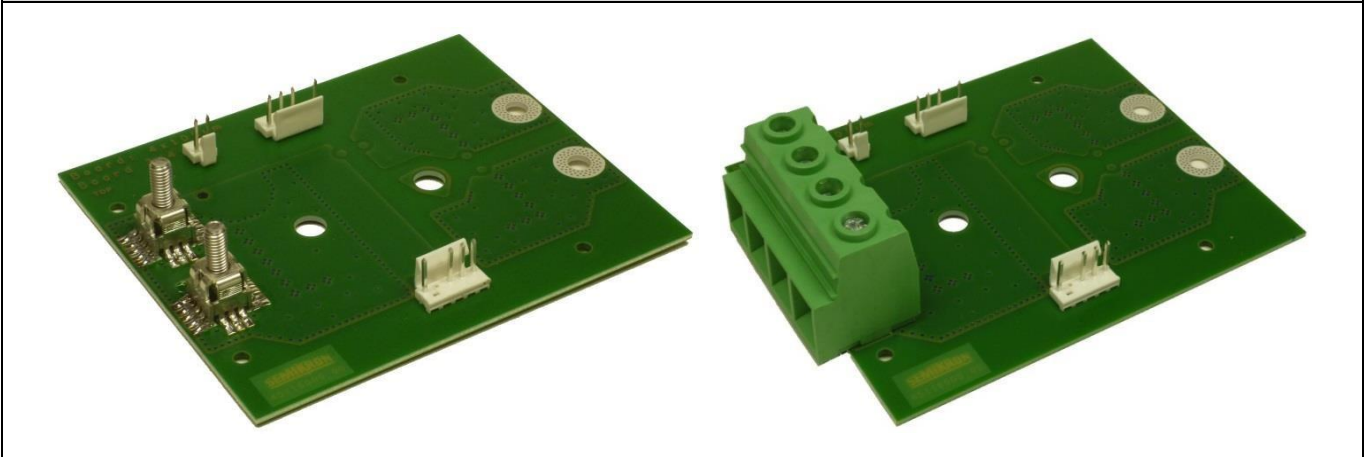


그림 6: SMD 볼트(좌)와 4폴 커넥터 블록(우)



흰색 MOLEX 플러그를 사용하여 드라이버 회로와 온도 센서를 연결하여 테스트를 진행하였으며, 이러한 제품들은 검사 대상이 아닙니다. (필요시 적합한 다른 커넥터로 교체 가능)

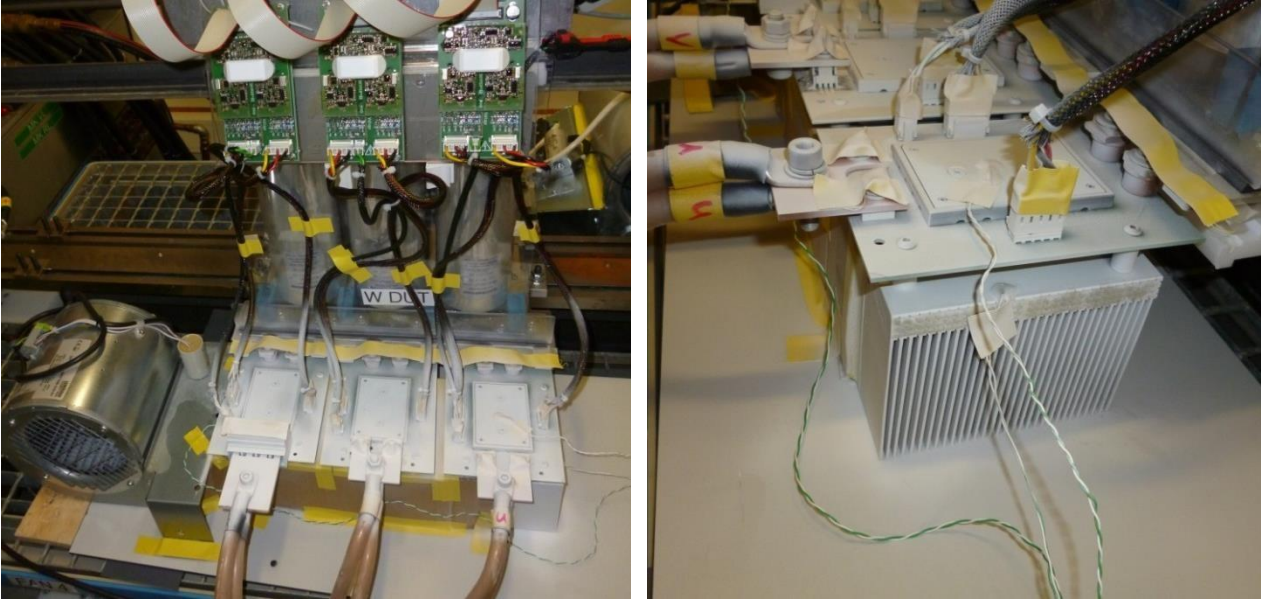
2.3 측정 설정 및 조건

실제 4Q 인버터를 동작하여 3개의 PCB를 시험하였습니다. 모든 PCB를 각각 별도의 방열판에 1개의 SKiiP38GB12T4V1에 연결하고 SEMİKRON 표준 DC-링크와 연결하여 실험을 진행하였습니다. 3개의 방열판이 충분히 커서 서로 잘 맞도록 설치하였고, 강력한 방사형 팬 1대로 강제 공랭식 시스템을 구축하였습니다. 표준 SEMİKRON 드라이버는 꼬인 전선을 통해 모듈에 연결하였습니다.

전체에 차가운 공기가 흘러 PCB가 냉각되지 않도록 하기 위해 4Q 시험 벤치의 환기 시스템을 정지시키고 테스트를 진행하였습니다. 주변 온도도 측정하여 모니터링 하였습니다. 마지막 방열판의 배기구, 첫 번째 방열판의 공기 흡입구, 그리고 마지막 방열판에 있는 모듈의 압력 리드(pressure lid)에 대한 참조 기준(reference) 측정을 위해 추가적으로 온도센서를 설치하였습니다.

적외선 열화상 카메라 측정을 통해 신뢰할 수 있는 데이터를 얻기 위해 흰색 페인트 도장을 하고 실험을 진행하였으며, 시험 설정은 그림 7과 같습니다.

그림 7: 팬과 드라이버가 설치된 3상 설정(좌) 및 마지막 방열판에 설치된 열전대(우)



시험에는 볼트와 PHOENIX 커넥터가 있는 PCB만 사용하였습니다. (AC 측에 주석 도금 홀이 있는 옵션은 DC 측에 이미 유사한 커넥터가 있어 시험에서 제외하였으며, 이러한 홀은 PCB 및 전원 배선에 더욱 효과적으로 열적 연결되어 여타 커넥터에 비해 성능이 더 뛰어남.)

인버터 시험은 가장 낮은 AC 전류(100A)로 시작하였으며, 시험 및 측정 장비의 열 균형을 위해 1시간을 설정하여 포화 온도를 확인하였습니다. 높은 전류의 추가적인 실험을 위해 포화상태에서 전류 증가는 약 20분의 슬로프로 정상 상태 조건에 도달하고 약 30분간 유지하며 측정하였습니다.

1차 시험은 최대 200A의 AC 전류에서 4레이어 PCB에 대해 실시하였습니다. 첫번째로 PCB당 2개의 볼트와 4개의 PHOENIX 클램프를 모두 연결하였습니다. 두번째로는 AC 접점 수를 절반으로 줄여, 각각 볼트 1개와 클램프 2개(중앙에 있는 것)로 시험 진행하였습니다.

2차 시험 역시 동일한 방식으로 수행하되, 2-레이어 PCB가 사용하였습니다. 1차 시험과 달리, PCB 3개의 장착 순서를 변경하였습니다. 4-레이어 시험에서는 압입 볼트, SMD 볼트 및 PHOENIX 클램프를 좌측에서 우측으로 장착하였고, 2-레이어 시험에서는 PHOENIX 클램프, SMD 볼트 및 압입 볼트를 좌측에서 우측으로 장착하였습니다. "왼쪽"은 공기 흡입구와 송풍기에 가깝고 "오른쪽"은 뜨거운 공기의 배출구에 위치한다.

3차 시험에서는 4-레이어 PCB를 다시 사용하였으며(1차 시험과 장착 순서 동일), 접점은 절반으로 줄고 AC 전류가 최고 260A까지 증가시켜 측정하였습니다.

100A와 200A 사이의 AC 전류에서 스위칭 주파수는 2kHz로 설정되었으며 200A 이상에서는 1.5kHz로 감소시켜 테스트 진행하였습니다.

현실적인 결과를 얻고자 구동 조건을 DC 전압 700V, AC 전압 400V, $\cos \phi$ 0.8 과 같이 입출력 조건을 설정합니다. 이 시험은 PCB의 전류 성능에 대한 것이었기 때문에 매우 낮은 스위칭 주파수를 선택하여 AC 전류를 높여 테스트를 진행하였습니다.

2.4 측정 결과

그림 8은 150A와 200A에서 구동하는 인버터의 정상상태 적외선 이미지를 나타낸 것입니다. 상단의 이미지 2개는 2-레이어 PCB를, 아래쪽 이미지는 4-레이어 PCB를 나타낸다. 기판의 순서를 바꿔도 결과는 변하지 않았습니다.

하나의 전류값에 대한 온도 눈금이 같다는 점은 확실히 PCB 기술이 기판의 자체 발열에 영향을 주지 않는다는 것을 확인할 수 있습니다.

그림 8: 150A(좌)와 200A(우)에서 2-레이어(상단) 및 4-레이어(하단) PCB

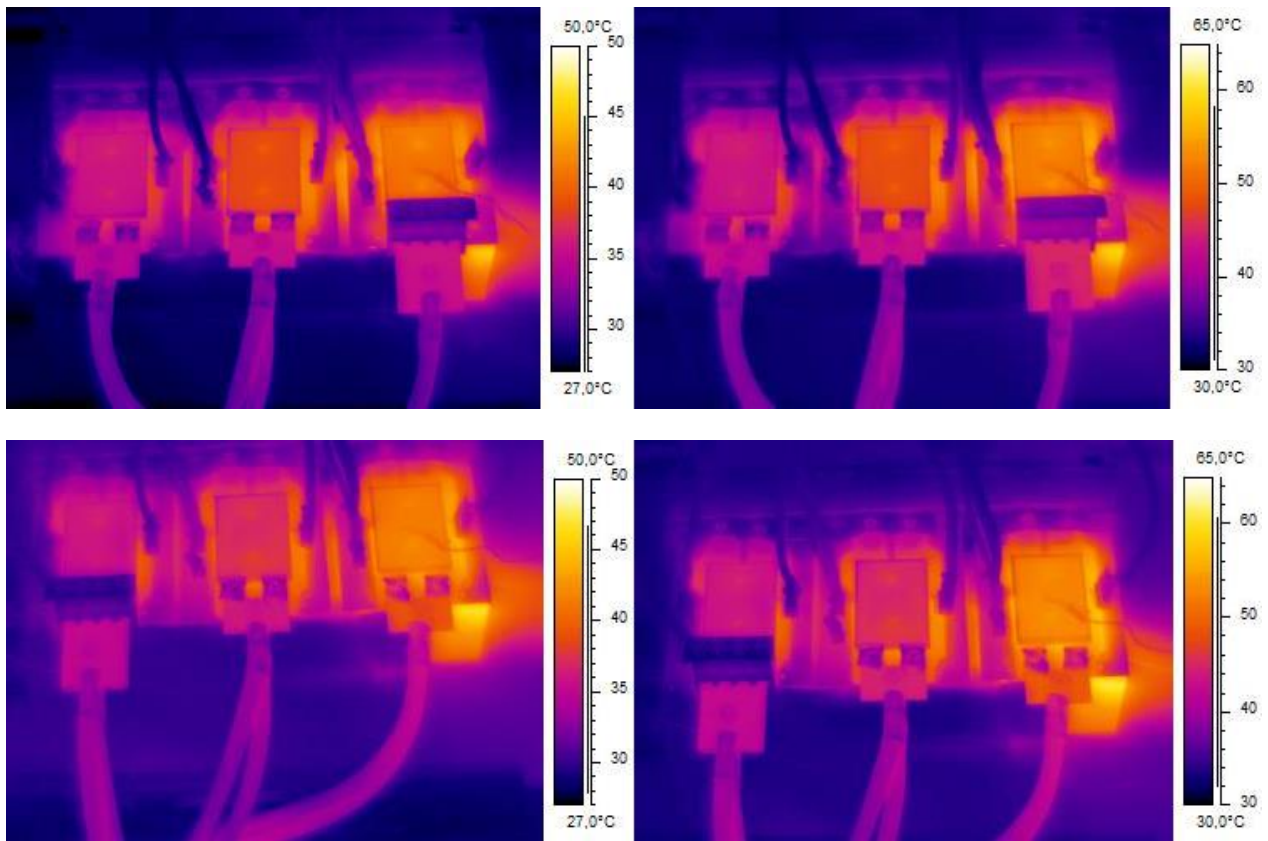


표 1 은 150A와 200A에서 2-레이어 및 4-레이어 PCB에 대한 정상상태 조건의 측정 결과를 정리한 표입니다. 또한 4-레이어 기판을 사용한 260A 측정 결과, 높은 전류에서 사용이 가능한 결과값을 얻었습니다.

표 1: 정상 상태 조건의 온도 측정

샘플	I _{ac}	T _{amb}	T _{sensor}	T _{IR,max}	ΔT of T _{sensor} vs. T _{IR,max}
단위	[A]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]
2-레이어	150	28.6	53.0	45.0	8.0
	200	30.2	67.0	55.0	12.0
4-레이어	150	29.7	53.0	45.0	8.0
	200	30.8	68.0	55.0	13.0
	260	30.7	87.0	70.0	17.0

T_{amb}는 시험 캐비닛(test cabinet)으로 측정한 주변 온도를 나타냅니다. T_{IR,max}는 열화상 카메라 측정을 통해 측정한 우측 모듈 주변의 최대 PCB 표면 온도입니다. T_{sensor}는 모듈 내부 온도 센서(NTC)의 측정값으로 방열판 온도를 나타냅니다. 표 1의 마지막 열에 있는 ΔT는 방열판과 최대 PCB 온도 사이의 온도차를 나타냅니다. 최고 200A까지는 8°C 와 13°C 사이를 유지하고, 260A에서도 출력 전류는 17°C이내 온도 편차 결과를 얻었습니다. 모든 시험 동작 조건에서, PCB 온도가 방열판 온도보다 낮은 것을 확인 할 수 있습니다. 모든 시험은 전원 커넥터 전체 및 절반에 대해 실시하였으며, 결과 PCB의 온도에는 영향이 없었습니다.

측정을 완료 후 시험 대상 모듈과 PCB를 검사하였습니다. 열 과부하가 발생할 수 있었음에도 스프링 접촉부가 변색되지 않았습니다. 따라서 확실히 두 가지 PCB 기술이 모두 가능한 MiniSKiiP Dual 모듈 전류로 최대 전도가 가능하다는 점을

확인할 수 있습니다. 특수 고전류 PCB(예: 와이어 레이드(wire-laid) 기술)는 시험을 실시하지 않았으며, 측정 결과의 관점에서 볼 때 필요하지 않았습니다.

AC 전류 150A의 경우, 주변 온도 30°C에서는 압입볼트 1개로 충분히 동작 할 수 있음을 알 수 있습니다.

3. 시험 2단계 - 3모듈 PCB

2차 시험에서는 3상 인버터를 설치하여 실험하였습니다. 3개의 MiniSKiiP 모듈(SKiiP38GB12T4V1)을 1개의 일반 방열판에 배치하였고, PCB 1개가 모든 모듈과 결합되고, DC링크 커패시터를 포함합니다. 1차 시험 결과를 토대로 DC 및 AC 연결을 각각 하나의 압입 볼트로 테스트를 진행하였습니다. PCB는 105µm 구리 4레이어로 제작하였습니다.

3.1 PCB 레이아웃

인버터의 기계적 설정은 SEMIKRON 3L SKiiP 28 MLI 07E3V1 Evaluation Inverter를 기반으로 세팅하였습니다. MiniSKiiP Dual 인버터는 3레벨 버전보다 더 높은 출력 전류를 달성하도록 설계되었기 때문에 DC 링크 커패시터 제한이 있습니다.

그림 9: 3상 인버터의 DC측면도(좌)와 AC측면도(우)

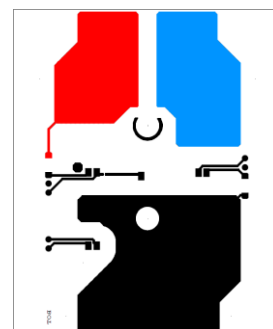
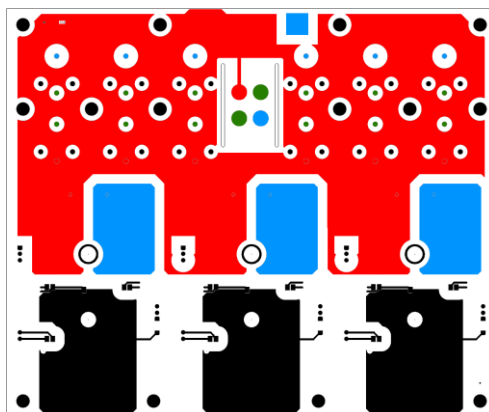
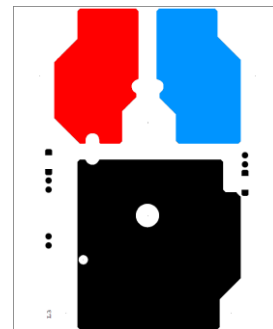
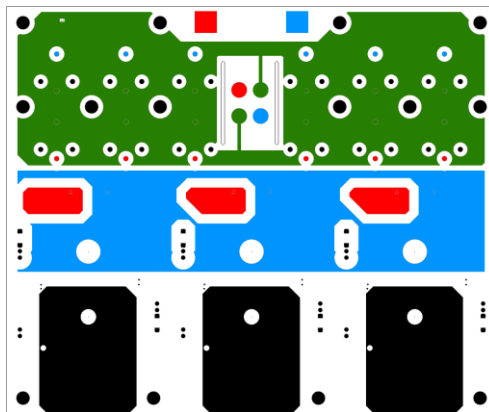
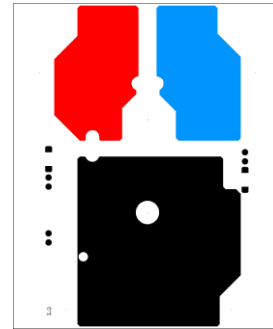
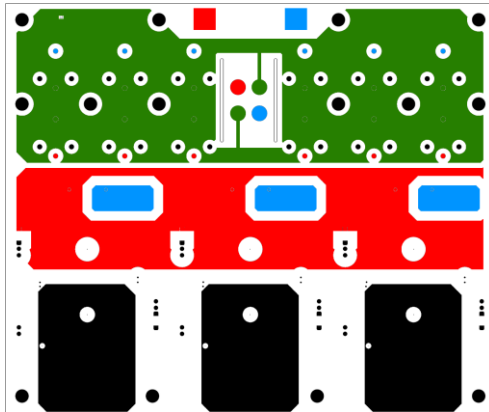
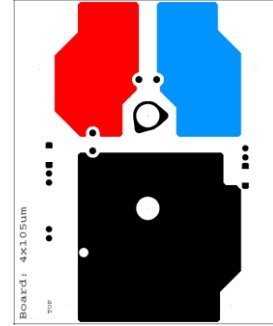
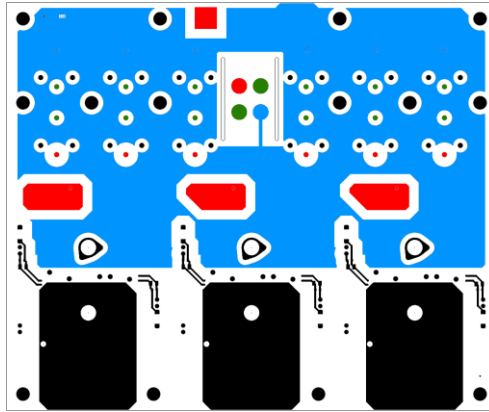


그림 10 는 3상 인버터와 앞서 소개한 1-모듈용 어댑터 PCB의 4레이어를 나타낸 그림입니다. AC측의 구리 영역은 두 기판 모두 거의 동일하고 온도 문제는 없을 것으로 예상됩니다.

인버터의 DC 측 단면이 단일 PCB에 비해 축소되었습니다. 그 이유는 공간이 제한적이고 커패시터를 직렬로 전환해야 하기 때문입니다. ; 이런 식으로 하면 레이어 1개는 DC+에, 레이어 1개는 DC-에 사용되며, 2개의 내부 레이어는 중간 지점(커패시터 아래) 또는 DC+/DC-(DC 링크와 모듈 사이)에 사용됩니다. 가장 높은 온도상승은 이곳에서 발생했습니다. 서로 다른 전위는 빨강(DC+), 파랑(DC-) 및 녹색(DC 링크의 중간 지점)으로 표시하고, AC영역은 검은색으로 표시하였습니다.

그림 10의 보라색 원 구리 영역은 복사를 통한 열 방출을 증가시킵니다. 이는 전기적으로 필요가 없는 부분입니다. PCB 크기는 250 x 300mm²로 동일한 아웃라인(윤곽)이며 에어 쿨러에 장착하였습니다.

그림 10: 상부 레이어부터 하부 레이어를 보여주는 3상 인버터(좌)와 어댑터(우) PCB 레이아웃

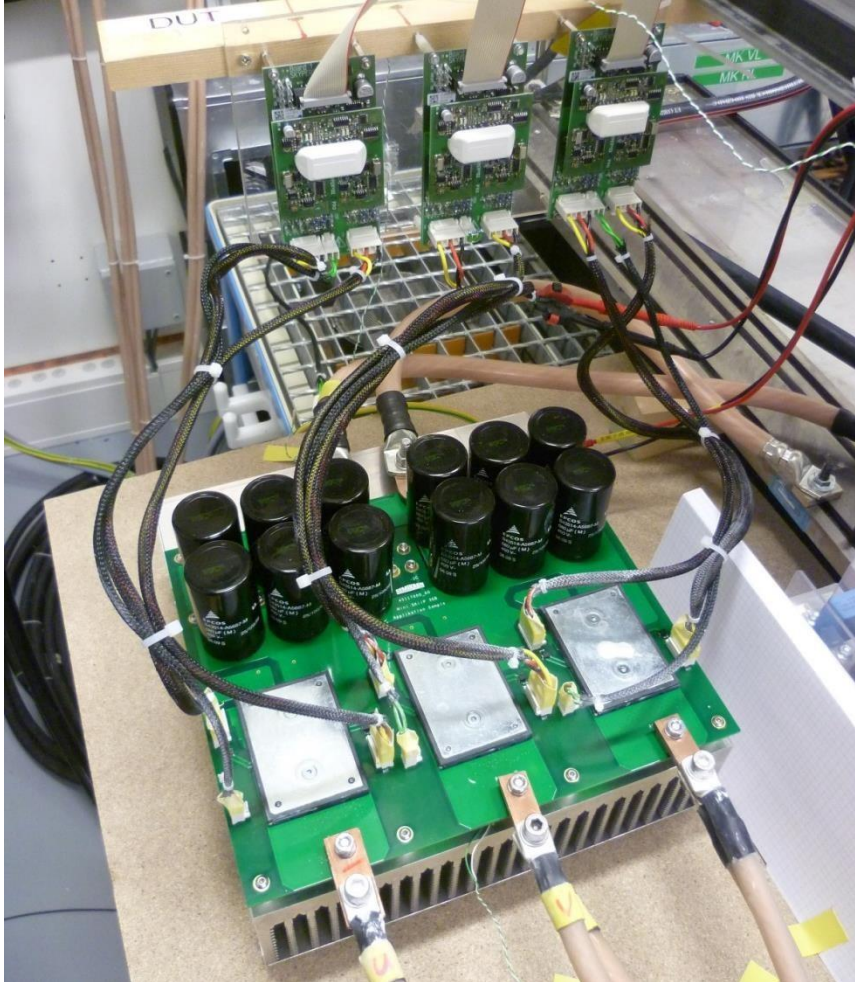


3.2 측정 설정 및 조건

3상 인버터 시험 구성(그림 11)은 시험 1단계의 실험 구성과 매우 유사합니다. 표준 SEMIKRON 드라이버를 트위스트 와이어로 모듈에 연결하여 구성하였습니다.

MiniSKiiP Dual 모듈은 하나의 방열판에 장착했으며, 공기 흐름이 110m³/h인 3개의 80mm 팬을 사용하여 방열판을 냉각시켰습니다. DC 측은 표준 SEMIKRON DC 링크에 약 50cm길이의 케이블로 연결하였습니다.

그림 11: 3-상 MiniSKiiP Dual 인버터 설정



3.3 측정 결과

그림 12와 그림 13은 열화상 측정 결과를 나타낸 것입니다. 3kHz의 스위칭 주파수를 사용하여 AC 전류가 50A에서 180A로 증가 시켜 테스트를 진행하였습니다. 이때 방열판은 약 90°C로 최대 온도에 도달하였습니다.

그림 12: 역률 = 0, 3kHz 스위칭 주파수 조건에서 50A(좌) 및 100A(우)의 3상 인버터

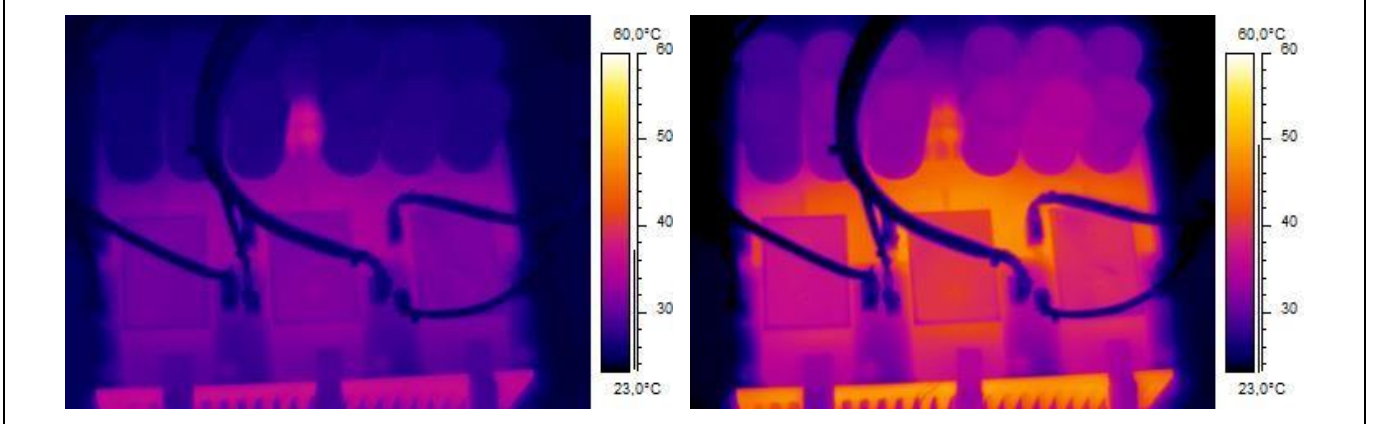
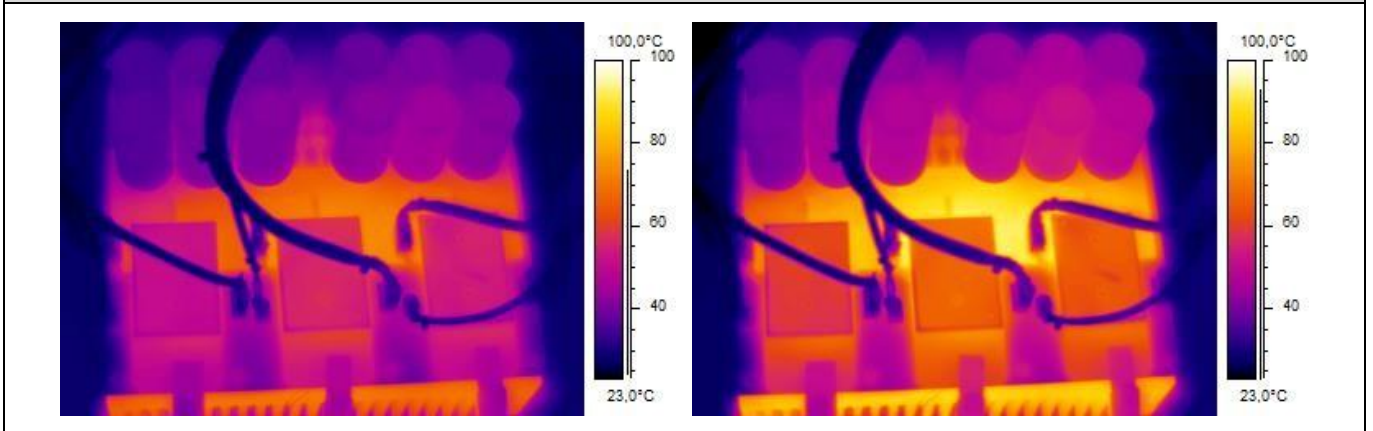
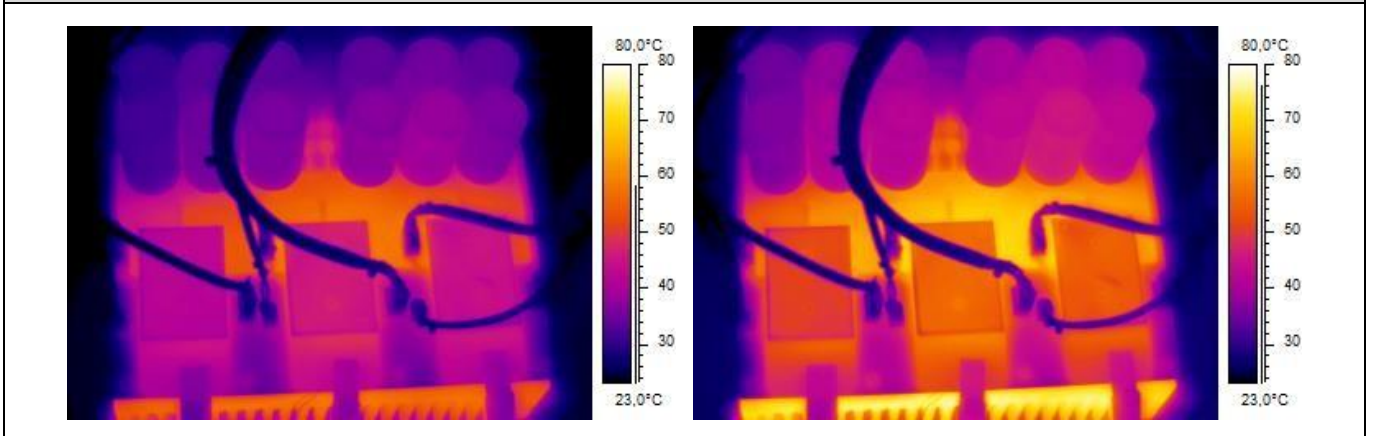


그림 13: 역률 = 0, 3kHz 스위칭 주파수 조건에서 150A(좌) 및 180A(우)의 3상 인버터



마지막 실험으로 스위칭 주파수를 6kHz로 증가하여 테스트를 진행하였습니다. 여기서는 시스템이 최대 125A까지 처리할 수 있었습니다(그림 14, 표 2, 맨 아래 열). 이 값을 넘으면 방열판이 충분한 냉각 기능을 제공하지 않아 전류가 더 이상 증가 시키기는 어려웠습니다.

그림 14: 역률 = 0, 125A 조건에서 3kHz(좌) 및 6kHz(우)의 3상 인버터



측정 결과, 중앙 모듈(V상) 주변의 온도와 방열판의 온도가 상관관계가 있는 것으로 나타났습니다.

표 2: 정상 상태 조건의 온도 측정				
I _{ac}	T _{amb}	T _{sensor}	T _{IR,max}	ΔT of T _{sensor} vs. T _{IR,max}
[A]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]
50	22.0	40.0	32.0	8.0
100	22.0	54.0	50.0	4.0
125	22.0	63.0	59.0	4.0
150	22.0	78.0	74.0	4.0
180	22.0	95.0	94.0	1.0
125 (6kHz)	22.0	84.0	70.0	14.0

표 2 는 측정결과를 정리한 내용입니다. T_{IR,max}는 열화상 카메라로 측정한 PCB(V상 모듈 주변)의 최대 온도를 나타냅니다. T_{amb} 는 팬에서 10cm 거리에 있는 공기 흡입구 전면의 주변 대기 온도를 나타냅니다. 공기 조건을 통해 계속 22°C를 유지하였습니다. T_{sensor} 은 V상 모듈 아래 방열판의 온도입니다.

결과적으로 PCB 온도가 방열판 온도에 매우 근접한 것으로 나타났습니다. 180A에서 PCB 핫스팟의 온도가 94°C에 달하는 결과를 얻었습니다.

모든 시험에서 PCB 온도가 방열판보다 낮게 나타나, 확실히 방열판 온도가 PCB 온도를 좌우한다는 것을 알 수 있습니다. PCB와 방열판 모두 아웃라인(윤곽)이 동일하므로 이러한 상관 관계는 열 복사(thermal radiation)를 통해 설명할 수 있습니다.

시험 결과 파손이나 변형 혹은 변색 없이 PCB에 180A를 전도하는 것이 가능한 것으로 나타났습니다.

4. PCB 설계 권장사항

4.1 요약

모듈당 하나의 PCB와 3상 인버터 시스템에 관한 두 가지 시험 단계를 통해 PCB와 모듈을 열 및 전기 제한에 대하여 알아보았습니다. 시험 결과는 최고 PCB 온도가 항상 방열판 온도보다 낮은 것을 바탕으로 PCB에서 출입하는 모든 전류를 전도하는 스프링 접점을 가진 300A 정격 모듈을 쉽게 구현할 수 있음을 매우 분명하게 보여주었습니다..

2레이어 및 4레이어 PCB의 인버터 동작 시험은 동일한 구성에서 4레이어 3상 인버터는 구리 단면 감소로 인해 PCB 온도가 더 높다는 점을 보여 주었으며, 이는 커패시터의 직렬 연결로 인해 필요했습니다.

아울러 사용한 압입 커넥터의 전류 정격이 올바른 것이 입증되었으며, 핫스팟은 없었습니다.

또한 시험 결과, 모듈의 내장 온도 센서가 불과 몇 도의 편차로 방열판 온도를 측정하는 것으로 나타났습니다.

4.2 PCB 권장사항

MiniSKiiP Dual을 사용한 아주 컴팩트한 인버터 설계를 통해 좋은 결과를 얻으려면 몇 가지 권장 사항을 고려해야 합니다.

- 압입 볼트의 사용은 전류 및 온도 등급에 따라 달리 선택해야 한다.
- PCB 설계에 필요한 구리 레이어의 수는 4개 이상이어야 하는데, 이는 모듈 옆에 장착될 추가 전자 부품에 따라 달라진다.
- DC 링크 전전압(full voltage)을 견딜 수 있는 커패시터는 직렬 연결이 중복되게 하고 DC 전류 전도에 사용할 수 있는 단면적을 증가시킨다.
- 허용되는 PCB 온도는 사용되는 재료에 따라 달라지며 허용 수준을 초과하면 안 된다. 하지만 모듈이 125°C 이상의 온도에 노출되면 안된다.
- 리드의 압력 핀과 기계적으로 접촉하는 최상단 레이어에 압력 패드를 배치하는 것이 필수적이므로, PCB 모듈 압력 리드 주변 설계는 MiniSKiiP 및 MiniSKiiP Dual의 기술 설명자료 및 모듈의 데이터 시트에 따라야 한다.
- 복사에 의해 열이 방출될 수 있도록 가능한 한 많은 비아(via)와 냉각 영역을 사용하여 PCB를 더욱 효과적으로 냉각할 수 있다.

그림 1: MiniSKiiP Dual 하우징 사이즈 2(좌) 및 하우징 사이즈 3(우).....	2
그림 2: MiniSKiiP Dual 하우징 압력 리드.....	2
그림 3: 최상단 레이어 사진(좌)과 도면(우).....	3
그림 4: 내부 레이어(좌)와 하단 레이어(우) 도면.....	3
그림 5: 주석 도금 마운팅 홀(좌)과 압입볼트(우).....	4
그림 6: SMD 볼트(좌)와 4중 커넥터 블록(우).....	4
그림 7: 팬과 드라이버가 설치된 3상 설정(좌) 및 마지막 방열판에 설치된 열전대(우).....	5
그림 8: 150A(좌)와 200A(우)에서 2-레이어(상단) 및 4-레이어(하단) PCB.....	6
그림 9: 3상 인버터의 DC측면도(좌)와 AC측면도(우).....	7
그림 10: 상부 레이어부터 하부 레이어를 보여주는 3상 인버터(좌)와 어댑터(우) PCB 레이아웃.....	8
그림 11: 3상 MiniSKiiP Dual 인버터 설정.....	9
그림 12: 역률 = 0, 3kHz 스위칭 주파수 조건에서 50A(좌) 및 100A(우) 3상 인버터.....	10
그림 13: 역률 = 0, 3kHz 스위칭 주파수 조건에서 150A(좌) 및 180A(우) 3상 인버터.....	10
그림 14: 역률 = 0, 125A 조건에서 3kHz(좌) 및 6kHz(우)의 3상 인버터.....	10
표 1: 정상 상태 조건의 온도 측정.....	6
표 2: 정상 상태 조건의 온도 측정.....	11

기호 및 용어

문자 기호	용어
2L	2레벨
3L	3레벨
4Q	4상한(4 quadrant)
AC	교류
$\cos \varphi$	역률
DC	직류
DC+	직류 전압원의 양의 전위(단자)
DC-	직류 전압원의 음의 전위(단자)
GB	하프 브리지
I _{AC}	장치의 RMS 출력 전류
IGBT	절연 게이트 바이폴라 트랜지스터(Insulated Gate Bipolar Transistor)
NTC	온도 계수가 음의 값인 온도 센서
PCB	인쇄회로기판(Printed Circuit Board)
SMD	표면 실장 장치(Surface Mounted Device)
T _{amb}	주변/환경 온도
T _{sensor}	센서 온도

용어 및 기호에 대한 자세한 설명은 "애플리케이션 매뉴얼 전력 반도체"[2] 참고.

참고자료

- [1] www.SEMIKRON.com
- [2] A. Wintrich, U. Nicolai, W. Tursky, T. Reimann, "Application Manual Power Semiconductors", ISLE Verlag 2011, ISBN 978-3-938843-666
- [3] M. Zurnacci, "MiniSKiiP Generation II – Technical Explanations", Technical Explanation, www.SEMIKRON.com, 2012
- [4] T. Hürtgen, "MiniSKiiP Dual – Technical Explanations", Technical Explanation, www.SEMIKRON.com, 2014
- [5] I. Staudt, "Technical Explanation – 3L Evaluation Inverter", Technical Explanation, www.SEMIKRON.com, 2013

면책조항

SEMİKRON은 추가 통지 없이 신뢰성, 기능 또는 설계를 개선하기 위해 변경할 수 있는 권리를 가집니다. 이 문서에 제공된 정보는 정확하고 신뢰할 수 있는 것으로 간주됩니다. 그러나 이러한 정보의 정확성 또는 사용과 관련하여 어떠한 확약이나 보증도 제공하지 않으며 어떠한 책임도 지지 않습니다. SEMİKRON은 이 문서에 기술된 제품이나 회로의 응용 또는 사용으로 인해 발생하는 어떠한 책임도 지지 않습니다. 아울러 이 기술 정보는 부품 특성에 대한 보증으로 간주되지 않을 수 있습니다. 배송, 성능 또는 적합성과 관련하여 일체의 명시적 혹은 암묵적 보증이나 보장도 하지 않습니다. 이 문서는 이전에 제공된 모든 정보를 대체 및 대신하며 추가 통지 없이 업데이트로 대체될 수 있습니다.

SEMİKRON 제품은 SEMİKRON의 명시적인 서면 승인 없이 생명 유지 장치 및 시스템에 사용할 수 없습니다.

SEMİKRON-DANFOSS KOR

경기도 광명시 새빛공원로67 광명역자이타워 A동 1207~1212호

• Tel: +82-2-6370-4799 • Fax: +49 911-65 59-262

sales.skkor@semikron-danfoss.com