

향상된 모듈 설계로 새로운 IGBT5 성능 향상

PrimePACK™ 3+ 모듈은 .XT 기술과 새로운 설계 기법을 결합함으로써 폼팩터를 변경하지 않고도 이전 PrimePACK™ 3보다 더 높은 전류 부하를 허용한다. 새로운 PrimePACK 3+ 패키지는 제 2의 AC 버스 바와 AC 전원 단자를 이용해 구현된다.

글 | 빌헬름 루슈(Wilhelm Rusche), 앙드레 R. 슈테거(Andre R. Steger)
인피니언 테크놀로지스

인피니언 테크놀로지스(Infineon Technologies)의 5세대 IGBT와 이미터 제어 다이오드는 향상된 열용량($T_{vj,op} = 175\text{ }^{\circ}\text{C}$)으로 인버터 애플리케이션에 사용되는 전력 모듈의 출력 전류를 증가시킨다. 높은 정션 온도를 완전하게 이용하기 위해서는 모듈 설계가 개선되어야 한다. PrimePACK™ 3+ 모듈은 .XT 기술과 새로운 설계 기법을 결합함으로써 폼팩터를 변경하지 않고도 이전 PrimePACK™ 3보다 더 높은 전류 부하를 허용한다. 새로운 PrimePACK 3+ 패키지는 제 2의 AC 버스 바와 AC 전원 단자를 이용해 구현된다. 이 솔루션은 PrimePACK™ 3에 비해 30% 증가된 전류를 달성하고 25도 증가된 칩 온도에서 동작하면서 최대 내부 온도를 감소시키는 것으로 입증됐다.

출력 범위 확장

이전 하프 브리지 구성의 PrimePACK 3 하우징에서 이용 가능한 최대 전류 정격은 1400 A였으나, .XT 기술^[1],^{3]}을 사용하는 PrimePACK 3+ 모듈은 175 °C의 칩 온도에서^[1,2] 약 30% 증가



[그림 1] 확장된 출력 범위. 새로운 PrimePACK 3+ 패키지와 IGBT5 및 이미터 제어 다이오드 5가 사용됐다.

한 1800 A까지 정격을 향상시킴으로써 인버터 애플리케이션에 요구되는 수명 신뢰성을 달성한다.

이와 같은 전류 밀도의 증가는 열 관리와 관련해 모듈 설계를 최적화할 때 가능해진다. 그림 1은 기존의 PrimePACK 3과 동일한 풋프린트를 가지면서 고전력 애플리케이션에서 5세대 1200 V 및 1700 V IGBT 칩 기술의 잠재적 성능을 완전하게 실현하는^[4] 새로운 PrimePACK 3+ 모듈을 보여준다. 이 모듈의 잠재적 전류 밀도는 내부 버스 바의 허용 전류에 의해 제한된다. 이를 극복하

기 위해 설계에 제 2의 AC 전원 단자가 추가됐다. 생산 전에 이러한 변화를 검증하기 위해 듀얼 AC 버스 바 방식이 전류 분포와 버스 바 내의 전류 흐름에 미치는 영향이 검토됐다.

열분석

다양한 모듈 설계의 최대 전류 용량(ampacity)을 평가하기 위해 ANSYS 워크벤치™를 사용하여 열 시뮬레이션이 수행됐다. 시뮬레이션 결과 얻은 온도 프로파일로 모듈의 버스 바와 기판을 연결

하는 지점의 온도가 결정됐다. 모듈 전원 단자의 온도는 105 °C로 고정됐다.

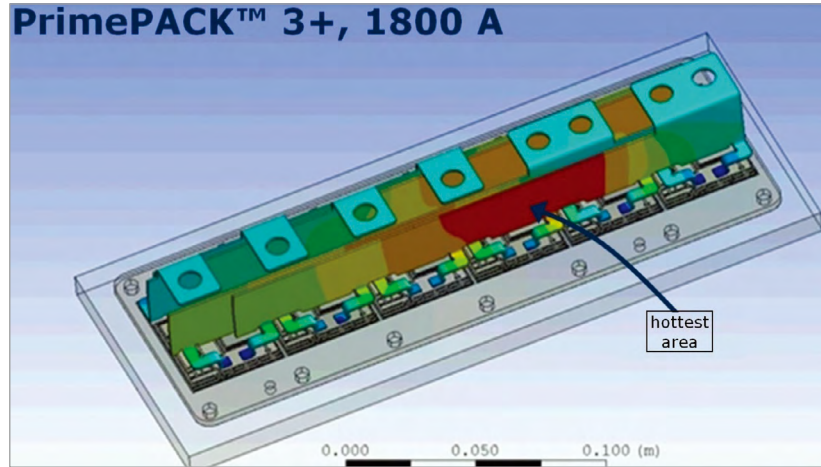
그림 2에서는 IGBT5 및 .XT 기술을 탑재한 PrimePACK 3+ 모듈 FF1800R17IP5에서 버스 바에 나타나는 온도 분포를 볼 수 있다. 시뮬레이션은 1800 A 및 $T_{vj,op} = 175\text{ }^{\circ}\text{C}$ 를 달성하는 것으로 가정하고 수행됐다.

가장 뜨거운 고온 영역은 여전히 AC 버스 바에 있지만, 새로운 설계에서는 이 영역이 크게 향상됐다. 새로운 설계는 PrimePACK™ 3에 비해 높아진 전류 밀도와 25도 증가한 칩 온도에도 불구하고 버스 바의 최대 온도는 고온 영역 주변 재료의 온도 제한 내로 충분히 유지됐다. 시뮬레이션 데이터는 듀얼 AC 버스 바 구조를 이용하는 PrimePACK 3+가 IGBT5의 잠재적 성능을 완전하게 이용하기에 매우 적합하다는 것을 확인시켜 준다.

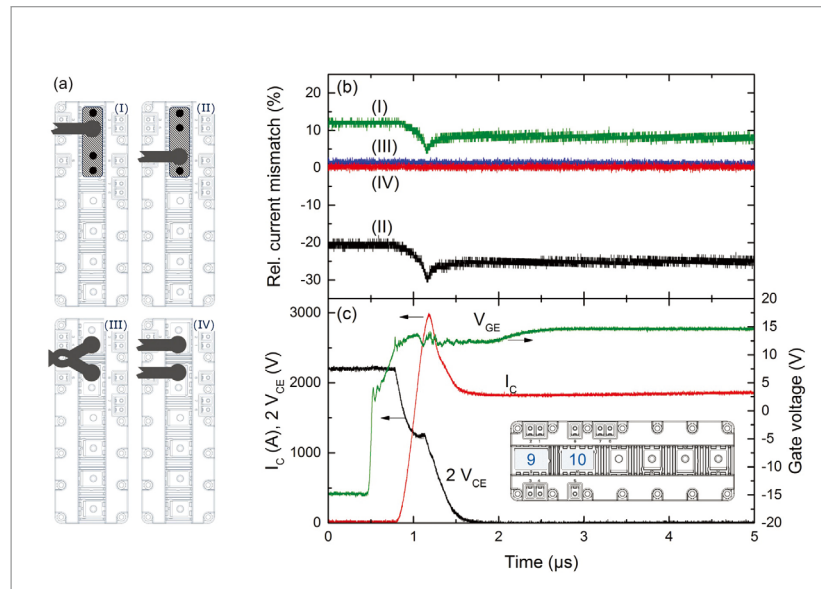
AC 단자 간 전류 공유

대칭적이고 최적화된 전류 분포를 보장하려면 적절한 외부 AC 연결이 필요하다. 따라서 2개의 AC 단자에 대해 전류 공유와 다양한 외부 연결 방식이 미치는 영향을 검사하기 위해 테스트가 수행됐다. 그림 3(b)는 4가지의 다른 AC 연결 구조에 대해 턴-온 시 상대적 전류 부정합을 그래프로 나타낸 것이다. 측정된 DC 링크 전압이 900 V이고 전류가 1800 A일 때 상온에서 수행됐다.

그림 3(c)는 게이트 전압(V_{GE}), 컬렉터 이미터 전압(V_{CE}) 및 전체 컬렉터 전류(I_C)의 파형을 보여준다. 전체 컬렉터 전류의 파형은 AC 연결에 의한 영향은



[그림 2] PrimePACK 3+ 모듈에서 모듈 버스 바의 시뮬레이팅된 온도 분포. 시뮬레이션은 1800 A_{RMS} 출력 전류와 175 °C 칩 온도에 대해 수행됐다.



[그림 3] (a) AC 단자 연결의 변화 검사. (b) 다양한 AC 연결 방식에 대해 턴-온 시 측정된 PrimePACK 3+의 2개 AC 단자 간 상대적 전류 불균형. (c) 그에 따른 컬렉터 이미터 전압, 컬렉터 전류 및 게이트 전압의 파형. (c)의 삽입된 그림은 단자 9와 10을 정의한다.

무시할 만한 수준이라는 것만 보여주므로, 그림 4(c)는 하나의 연결 옵션에 대해서만 곡선이 표시돼 있다. 그림 4(b)의 곡선 (I)는 연결 방식 (I)에 대한 턴-온 시 상대적 전류 불균형을 나타낸다. 그림 3(a)의 도식적인 그림에서 보듯이 두 AC 단자는 모두 많은 양의 구리 스트

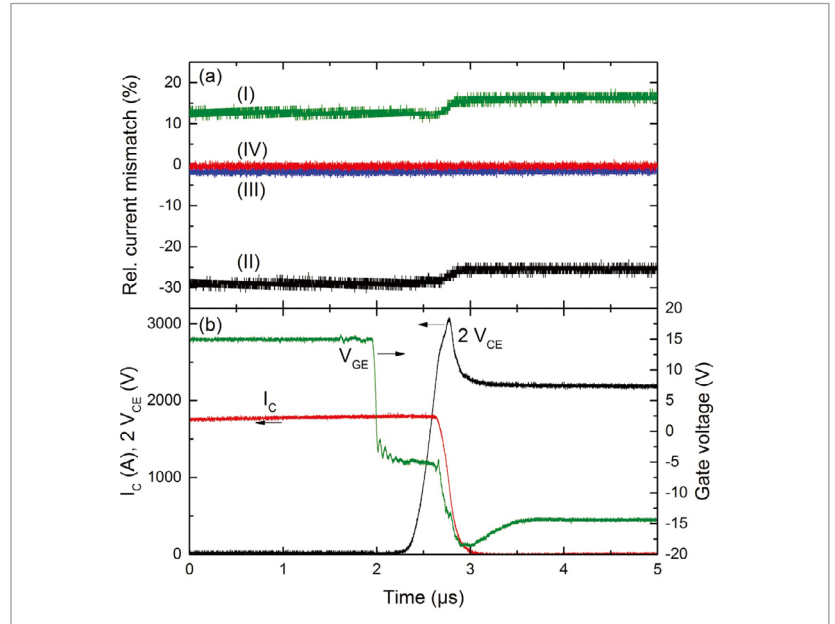
립을 사용하여 연결되고, 케이블은 외부 AC 단자에 연결됐다. 이러한 방식의 연결에서 가장 높은 전류 불균형이 관찰됐다. 그림 3(b)의 곡선 (II)는 많은 양의 구리 스트립을 사용하여 2개의 AC 단자를 연결한 (I)와 유사한 방식을 사용하여 수행된 측정으로부터 얻은 것이다. 그

러나 (II)의 경우에는 그림 3(a)에서 보듯이 케이블을 단자 10에 연결했다. (II)에서 더 큰 전류 불균형이 관찰된다.

연결 방식 (III) 및 (IV)에서 AC 단자는 동일한 길이의 2개 케이블을 사용해 개별적으로 접속했으며 구리 바는 생략됐다. (III)의 경우 2개의 케이블이 꼬임 형태로 사용됐으며, (IV)는 꼬임 형태가 아니다. 두 경우 모두 전류 정류 시 2개의 AC 단자 간에 훨씬 낮은 전류 불균형이 발생한다. 가장 낮은 전류 불균형은 (IV)의 연결 형태에서 측정됐다.

그림 4에서는 (I) ~ (IV)의 다양한 AC 연결 방식을 그림 3의 턴-온의 경우와 유사한 방식으로 IGBT 턴-오프에 대해 비교하고 있다. 얻은 결과는 턴-온 측정으로부터 얻은 결과와 매우 유사하다. 방식 (II)는 가장 큰 전류 불균형을 보여주며, 그 다음으로 방식 (I), (III), (IV) 순이다. 온-상태와 오프-상태 간에 전류 불균형의 차이가 발생하는 원인은 이들 두 상황에서 발생하는 부하 전류의 서로 다른 di/dt 를 고려하면 이해할 수 있을 것이다. 2개의 AC 단자의 인덕턴스 간에 존재하는 약간의 차이와 연결 구리 바의 인덕턴스가 결합하면서 2개의 내부 AC 버스바에서 약간 다른 di/dt 가 나타난다. (III)과 (IV)와 같이 2개의 AC 단자를 2개의 케이블을 이용해 개별적으로 연결하는 경우, 내부 인덕턴스의 차이가 케이블의 인덕턴스에 비해 작으므로 전류 평형에 더 가까워진다.

가장 낮은 전류 부정합은 동일한 저항과 인덕턴스를 갖는 2개의 케이블로 2개의 AC 단자를 개별적으로 연결한 경



[그림 4] (a) 다양한 AC 연결 방식에 대해 턴-오프 시 측정된 PrimePACK 3+의 2개 AC 단자 간 상대적 전류 불균형. (b) 그에 따른 컬렉터 이미터 전압, 컬렉터 전류, 게이트 전압의 파형

우에 나타났다.

실제 애플리케이션 조건에서 시행한 인버터 테스트

앞서 살펴본 열 시뮬레이션에서는 105 °C의 일정한 단자 온도가 가정됐다. 실제 애플리케이션 조건에서 열 상황을 평가하기 위해 인버터 테스트에서 2개의 다른 모듈을 비교했다. 이 실험은 액체 냉각 인버터 시스템에서 수행됐다^[5].

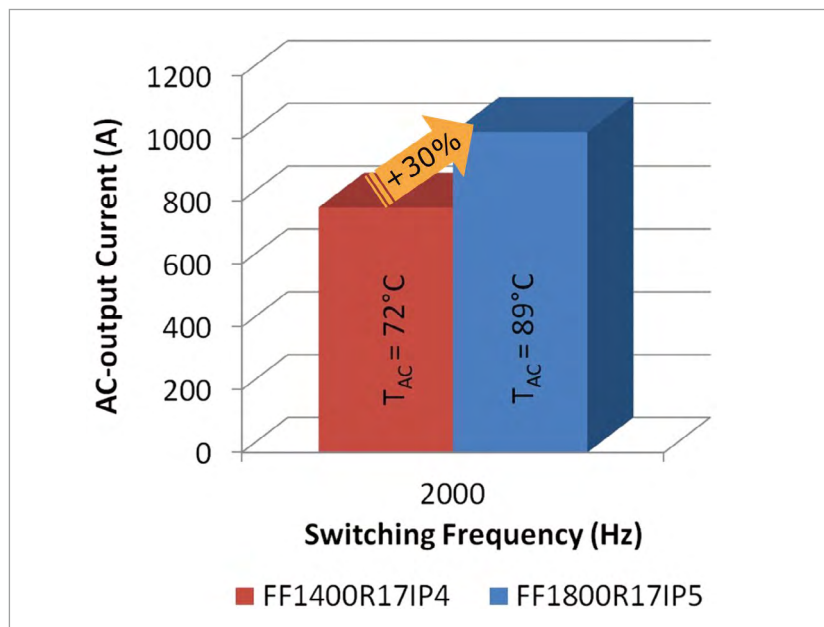
테스트 대상인 2개의 모듈은 1700 V, 1400 A IGBT4 PrimePACK 3 모듈인 FF1400R17IP4와 1700 V, 1800 A IGBT5 PrimePACK 3+ 모듈인 FF1800R17IP5가 사용됐다. AC 단자는 200 mm² 구리 케이블을 짧은 루프 모양으로 만들어 인버터의 연결 단자에 연결했다. 단자에는 액티

브 쿨링 기능이 포함되지 않았다. 온도 센서는 PrimePACK 3의 AC 단자와 PrimePACK 3+ 모듈의 결합된 AC 단자에 부착했다.

그림 5에서는 온도 측정의 결과를 볼 수 있다.

AC 단자 온도는 열평형이 달성된 후 측정됐다. PrimePACK 3인 FF1400R17IP4는 2 kHz 스위칭 주파수에서 780 A의 RMS 출력 전류로 동작했으며, 단자 온도는 72 °C로 측정됐다. PrimePACK 3+인 FF1800R17IP5에서는 동일한 스위칭 주파수에서 RMS 전류가 1020 A로 증가했으며, AC 단자 온도는 89 °C로 측정됐다.

PrimePACK 3+는 30% 더 높은 출력 전류에도 불구하고 AC 단자에 냉각 기능을 사용하지 않고도 AC 단자의 온도가 17도 정도밖에 상승하지 않았다는 점은 주목할 만하다.



[그림 5] PrimePACK 3 모듈인 FF1400R17IP4와 PrimePACK 3+ 모듈인 FF1800R17IP5에 대해 측정된 AC 출력 전류 및 AC 단자 온도

요약

새롭게 출시된 PrimePACK 3+ 패키지는 PrimePACK 시리즈의 전류 범위를 1800 A로 확장한다. 모듈의 정류용

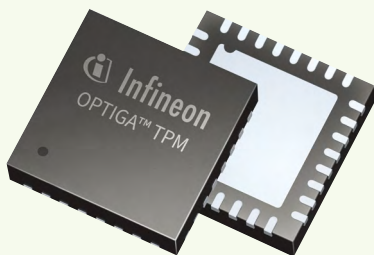
량은 제 2의 AC 버스 바에 의해 향상되어, 모듈의 열관리에 많은 이점을 제공한다. 2개의 AC 단자 간 최적의 전류 공유는 2개의 단자를 동일한 저항과 모듈의 내부 AC 버스 바의 인덕턴스를 초과하는

동일한 인덕턴스를 갖는 2개의 케이블을 이용해 개별적으로 연결했을 때 얻어졌다. 인버터 테스트는 새로운 패키지의 전류 밀도가 PrimePACK 3에 비해 전류가 30% 증가했으며, AC 단자 온도는 17도 정도만 상승했음을 입증했다. **ES**

참고문헌

- [1] A. Ciliox, et al., Next step towards higher power density with new IGBT and diode generation and influence on inverter design, PCIM, Nuremberg, Germany, 2013.
- [2] A. Stegner, et al., Next generation 1700V IGBT and emitter controlled diode with .XT technology, PCIM, Nuremberg, Germany, 2014.
- [3] A. Ciliox, et al., New module generation for higher lifetime, PCIM, Nuremberg, Germany, 2010.
- [4] A. Stegner, et al., New PrimePACK™ package to lever IGBT5, PCIM, Nuremberg, Germany, 2015.
- [5] R. Nagarajan, et al., Aspects of increased power Density with the new 5th Generation IGBT demonstrated with Application relevant Measurements, PCIM, Nuremberg, Germany, 2015.

인피니언 OPTIGA™ TPM 보안 칩, 최신 MS 서피스 기기에 채택



마이크로소프트(Microsoft)가 신제품 서피스 프로 4(Surface Pro 4) 태블릿과 최초의 자체 브랜드 노트북 서피스북(Surface Book)을 포함한 최신 개인 컴퓨팅 기기에 인피니언 테크놀로지스의 TPM 2.0 표준 기반 보안 컨트롤러 OPTIGA™ TPM(Trusted Platform Module) SLB 9665를 탑재했다. 이 칩은 메인 프로세서와 개별적으로 키, 인증서, 비밀번호 등의 민감한 정보를 저장하는 전용 보안 칩이다. 이 칩은 마이크로소프트 BitLocker 드라이브 암호화 애플리케이션의 키와 비밀번호를 안전하게 보호한다.

TPM 2.0 표준은 인텔과 구글 등의 회원들이 참여하고 있는 국제 표준화 그룹 TCG(Trusted Computing Group)에서 정의하고 있다. TPM 2.0 규격은 최첨단 암호화 및 보안 메커니즘을 기반으로 하며, 특히 특수한 보안 요건을 갖는 IoT 기기뿐 아니라 노트북, 태블릿 등의 모바일 컴퓨팅 기기의 요구를 충족한다.