

# 유연성과 확장성이 뛰어난 신개념 IGBT 모듈

Martin Freyberg\*, 김 대 희\*\*

(SEMIKRON International, \*Germany Product Manager, \*\*세미크론(주) 이사)

## 1. 서론

모터드라이브, 무정전 전원장치(UPS), 용접기, 유도 가열 시스템 등에 쓰이는 컨버터를 효율적으로 개발하는데 있어 신뢰성 높고 강인한 IGBT의 선택은 매우 중요한 역할을 한다. IGBT에는 다음과 같은 사항들이 핵심적으로 요구된다.

- \* 최신의 칩 기술의 이용으로 전력 손실(온 상태 손실 및 스위칭 손실)이 최적화되어야 한다.
- \* 컨버터 사이즈가 콤팩트해질 수 있도록 모듈 사이즈가 콤팩트해야 한다.
- \* 모듈 케이스 높이가 낮아 내부 분포 인덕턴스(stray inductance)가 작아야 한다.
- \* DC 및 AC 터미널들이 사용이 편리하여 인덕턴스가 낮게 DC링크 단을 배치 설계할 수 있어야 한다.
- \* 하프 브리지/초퍼/6팩 등과 같이 다양한 토폴로지(topology)의 모듈들이 갖추어져 있어야 한다.
- \* 모듈 상부에 간단하면서도 유연성있는 드라이버 인터페이스가 갖추어져 있어야 한다.
- \* 기본적인 보호 기능을 위해 온도 센서가 내장되어 있어야 한다.
- \* 큰 출력 용량의 컨버터 설계를 위해 모듈의 병렬연결이 쉬워야 한다.

그러나 위의 요구 사항에 비추어 볼 때, 기존의 IGBT모듈들에는 몇 가지 단점들이 있다. 기존의 34mm/62mm 크기의 하프 브리지 패키지의 경우를 보면:

- \* AC및 DC터미널의 위치가 DC링크 구조를 쉽게 하는데 방해가 된다.
- \* AC및 DC터미널의 위치로 인해 상부에 드라이버를 배치할 공간이 제한된다.

- \* 공통된 표준으로 인해 최소한의 터미널 높이가 30mm이상이다.
- \* 모듈 사이즈에 따라 파워 터미널 사이의 피치(pitch)가 다르다.
- \* 내부 구조 때문에 생산공정의 자동화가 힘들다.
- \* 파워 터미널의 최대 전류가 제한적이다.

기존의 6-팩에는 다음과 같은 단점들이 있다.

- \* 파워 밀도(power density)가 너무 높아 칩을 효과적으로 이용하기 어렵다.
- \* 사이즈가 크고 드라이버를 상부 배치해야 하므로 사용하는 데 제약이 많다
- \* 6-팩은 유연성이 부족하고 제품의 범위가 제한되어 있다.

## 2. 기존 모듈의 약점 극복

위에 열거한 약점 외에, IGBT<sup>®</sup> Trench칩이나 SPT(Soft-Punch-Through)칩과 같은 차세대의 칩이 개발됨으로써, 이에 적합한 패키징 구조가 필요하게 되었다. 더욱이, 기존의 파워 모듈은 새로운 칩들의 새로운 특성(Trench 칩의 경우 포화 전압  $V_{ce(sat)}$  이 낮고, SPT칩의 경우  $V_{ce(sat)}$  와  $E_{sw}$  에 의한 열손실 측면에서 최적의 성능을 갖는다.)에 적합하도록 추가적으로 최적화시킬 필요가 있다.

또한, 전도 손실이 적으려면 내부 저항이 낮아야 하고 커뮤테이션 과정에서 과도 전압이 최소화되기 위해서는 분포 인덕턴스(stray inductance)가 낮아야 한다.

기존 모듈의 이러한 단점들을 극복하기 위해 SEMIX<sup>™</sup>라 불리는 신개념의 IGBT모듈이 개발되었는데, 이 모듈은 최신의 IGBT기술과 완벽하게 어울린다. 이 모듈은 새롭게 비용

효과적이고 확장이 용이한 플랫폼 개념을 채용하여, 광범위한 파워 영역을 갖게 되었고 다양한 어플리케이션의 요구 조건들을 만족시킬 수 있게 되었다.

### 3. 내부 구조

SEMiX모듈은 최신의 IGBT 및 다이오드 기술을 채용하고 있다. 현재, 1200V 및 1700V급이 상품화되어 있고, 600V급의 Trench시리즈가 개발되고 있다. IGBT® Trench칩을 채용한 모듈에는 CAL HD다이오드가 사용되는데 이 프리휠링 다이오드는 순방향 전압강하가 낮고 전류 밀도가 높으며 정격 전류 이상 영역에서 온도 특성이 개선된다.

또한 1200V급에는 SPT IGBT와 CAL다이오드가 결합된

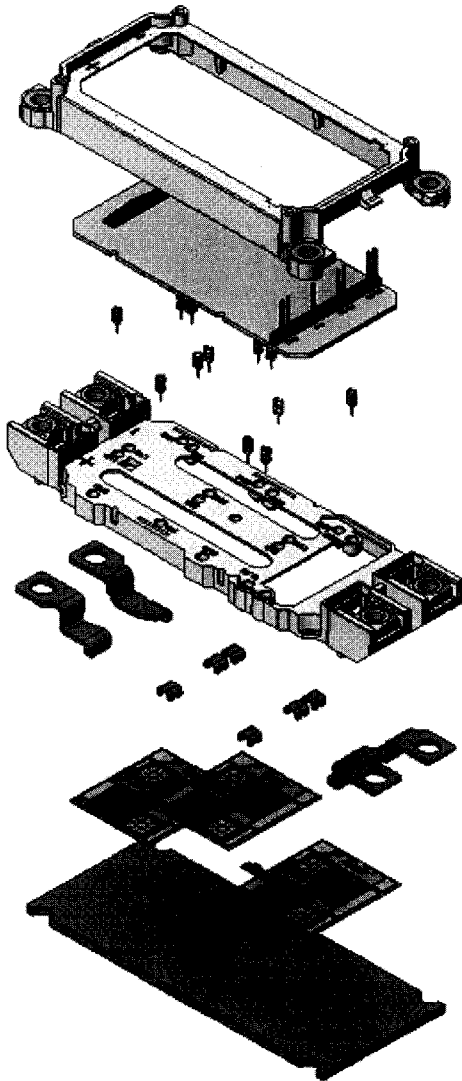


그림 1 SEMiX™3모듈의 내부 구조

모듈이 있는데 이 모듈들은 특히 스위칭 주파수가 높은 ( $f_{sw}$ )6KHz) 어플리케이션에 적합하다.

SEMiX의 내부 구조는 기존 방식대로 구리로 된 베이스 플레이트 방식을 채용하고 있다. <그림 1>에서 볼 수 있듯이 산화 알루미늄 세라믹 기판(direct bonded copper 혹은 DBC)이 구리로 된 베이스 플레이트 위에 솔더링되어 있다. 각 DBC는 상부/하부 IGBT 스위치와 역병렬 다이오드(FWD)로 구성된 하프 브리지 회로로 되어 있다. 동일한 DBC들을 병렬로 연결하여 요구되는 출력을 낸다. 모든 SEMiX타입에 대해 동일한 DBC디자인이 사용된다.

SEMiX의 파워터미널은 세라믹 DBC기판에 직접 솔더링되어 있기 때문에 방열효과가 뛰어나고 패키지의 전도 손실이 매우 낮다. DBC사이의 내부 연결도 솔더링 방식의 브리지로 되어 있기 때문에 다시 한번 내부 저항 손실이 줄어 든다.

이러한 접근 방식을 통해 Trench IGBT의 장점(포화 전압이 낮고 전류 밀도가 높다)을 최대한 활용할 수 있게 되었다.

내부적으로, 게이트, 이미터, 컬렉터 센싱 및 온도 센서와 연결에는 나선형 스프링이 사용된다. 나선형 스프링이 해당 DBC의 구리로 된 접촉 부위와 인터페이스 PCB사이 수직으로 놓인다. 압착(pressure contact)방식을 통해 보조 접점과 모듈 상부의 제어 터미널과 연결된다. 스프링 접촉 방식은 열악한 환경 하에서도 신뢰성이 매우 높은 것으로 입증되었다. 각 하프 브리지 모듈에는 NTC온도 센서가 내장되어 있어 모듈 온도를 모니터링할 수 있다.

파워 터미널의 높이는 17mm로서 시스템 전체 높이를 낮추는데 유리하다. DC터미널과 AC터미널은 양쪽으로 분리되어 있어 DC링크 및 AC부하에 연결이 쉽고 DC링크와 부하를 분명하게 분리해준다. 또한 이로 인해 컨버터의 레이아웃이 간단하고 콤팩트해진다.

파워 터미널의 위치가 밖으로 빠져 있기 때문에 하프브리지 모듈의 상부에 드라이버를 바로 얹을 수 있다.

### 4. IGBT플랫폼의 신개념

SEMiX플랫폼이 가지는 기본적인 장점 중의 하나는 하나의 플랫폼을 가지고 전류 정격에 따라서 스케일링만 하면 정격 전류를 확장할 수 있다는 점이다. 현재 세 가지 크기의 하프 브리지 모듈, 즉 SEMiX 2(190A~480A), SEMiX 3(250A~700A) 그리고 SEMiX 4(300A~1000A)가 개발되어 있다. 이 모듈들은 2개에서 4개 사이의 DBC 기판을 병렬 연결하여 사용하는데, 개별 DBC들은 하나의 하프 브리지 회로로 작동한다(그림 2).

이러한 유연성으로 인해 AC 모터 드라이브, UPS, 용접기, 파워서플라이 등과 같은 어플리케이션에 매우 유용하게 쓰일 수 있다. SEMiX 2와 SEMiX 3는 중간 용량의 어플리케이션

(22KW~110KW)에 적합한데, 폭은 같고(50mm) 길이만 다르다(각각 77mm 및 110mm). 이 사실은 하나의 기계적 설계 구조를 가지고 광범위한 용량 범위에 적용할 수 있음을

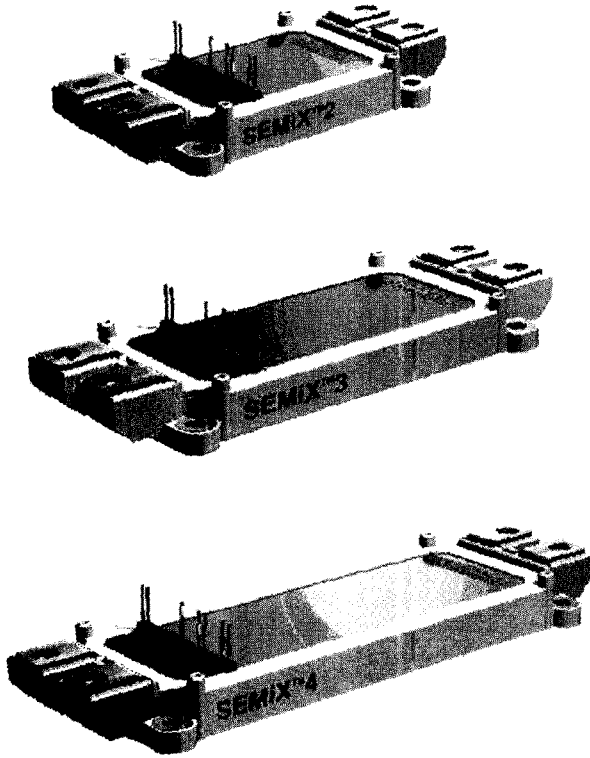


그림 2 SEMIX 2/ SEMIX 3/ SEMIX 4

의미한다.

SEMIX 4는 높은 용량의 어플리케이션 (150KW까지)에 적합하며 50mm x 147mm의 크기를 갖는다.

이러한 플랫폼은 다양한 요구 조건에 대해 같은 사이즈의 모듈을 가지고도 다양한 선택을 할 수 있으며(그림 3), 용량 저감(derating)을 거의 하지 않고도 6개까지 병렬 연결할 수 있다. 또한 최적화된 구조와 IGBT 및 다이오드의 파라미터 ( $V_{ce(sat)}$  및  $V_f$ )의 포지티브한 온도 특성으로 인해 병렬 연결을 쉽게 할 수 있다.

오늘날 전력전자 분야에 가장 흔히 쓰이는 회로는 삼상 인버터 브리지 회로인데, 이 회로에는 6개의 IGBT와 프리휠링 다이오드가 사용된다. SEMIX 플랫폼을 사용하게 되면, 이 토폴로지는 한 개의 6-팩 모듈이나 3개의 하프브리지 모듈로 구현할 수 있다. DC링크 단에 다이내믹 에너지 회생이 예상되는 어플리케이션에서는 브레이크 초퍼 모듈이 추가적으로 필요하다. SEMIX 플랫폼에서는 벡(buck) 컨버터와 부스트(boost) 컨버터가 하프 브리지와 동일한 하우징으로 제공되는데, 이 모듈을 6-팩과 조합하여 사용하면 이상적이다. 결과적으로 컨버터 회로 설계가 간단해진다.

삼상 컨버터를 하나의 6-팩 모듈 혹은 3개의 하프브리지 모듈로 선택하여 사용할 수 있는 것은 SEMIX 플랫폼이 가지는 독특한 특징 중의 하나다. 6-팩 형태의 SEMIX 3 대신에, 42mm의 하프브리지 모듈을 간격을 띄어 배치시키면 방열판과 주변 온도 사이의 열저항을 20%정도 줄일 수 있다(그림 4). 이러한 열저항 감소 효과로 인해 출력 정격을 늘리거나, 냉각 비용(방열판, 팬)을 줄일 수 있고(전류가 일정할 경우) 혹은 접합부 온도를 10°C정도 낮게 사용함으로써 수명

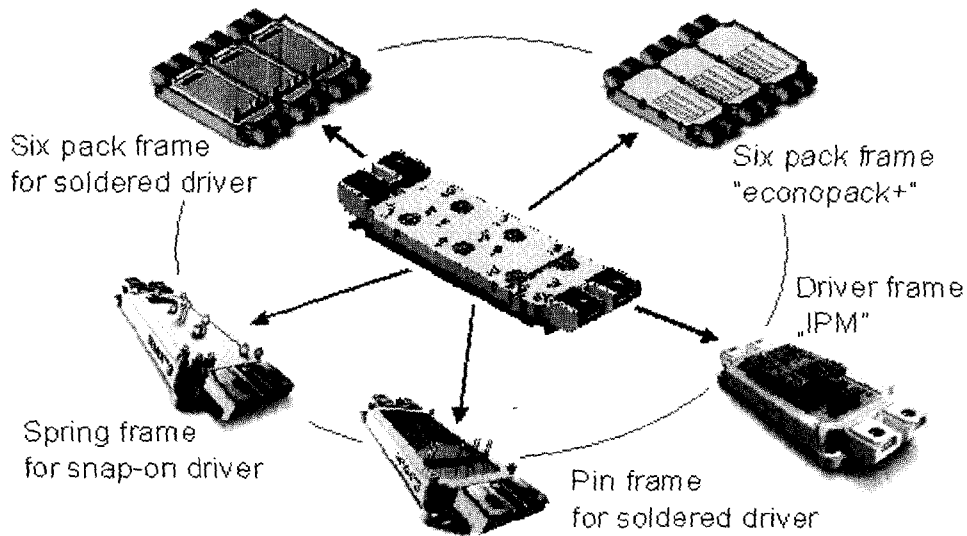


그림 3 플랫폼의 개요

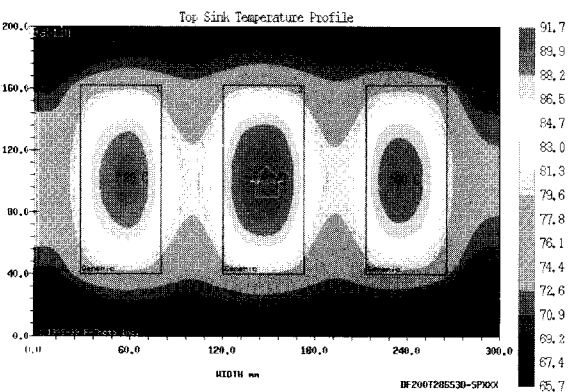
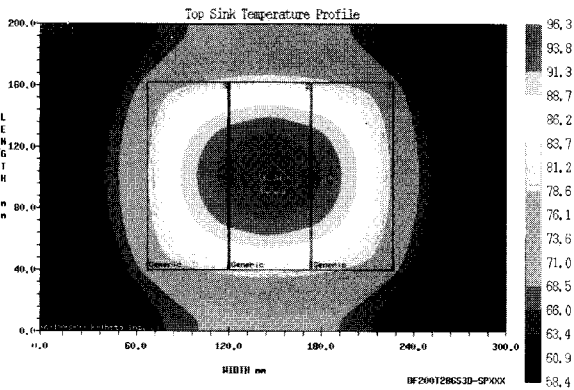


그림 4 6-팩의 경우와 하프브리지를 분산 배치한 경우의 방열에 대한 시뮬레이션 결과

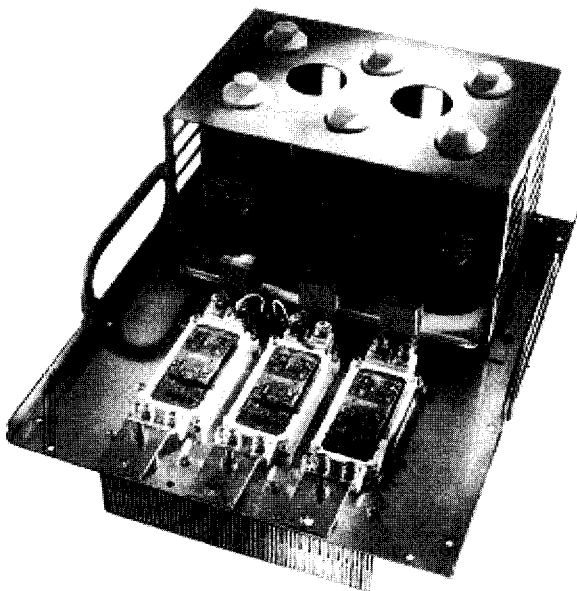


그림 5 SEMiX 3 하프브리지 모듈을 이용한 컴팩트한 3상 컨버터의 예

(lifetime)을 늘일 수 있다.

요즘 시중에서 흔히 구입할 수 있는 IGBT모듈들은 드라이버 연결용 단자로 보통 솔더링된 터미널 블록이나 스냅-온 터미널 스트립이 장착되어 있다. 이러한 인터페이스의 편아웃은 컨버터 설계의 최적화에 초점이 맞추어져 결정되기보다는 모듈의 내부 설계 조건에 의해 결정된다. SEMiX의 경우 유연한 편아웃 구조로 인해 모듈과 컨버터 설계를 최적으로 맞추는데 야기될 수 있는 이러한 문제들이 제거된다.

〈그림 5〉는 SEMiX 3 하프브리지 모듈을 이용한 컴팩트한 삼상 컨버터의 예다.

SEMiX 하프브리지 모듈에서는 세 종류의 드라이버 인터페이스가 가능하다:

- \* 솔더링 혹은 플러그핀용 커넥터가 달린 표준형
- \* 스프링 패드 인터페이스로 연결(스냅-온)할 수 있는 스프링 패드형


표준형에 내장되어 있는 스프링보다 높이가 높은 나선형 스프링은 상부 커버에 나있는 구멍을 통해 밖으로 돌출되어 있다. 여기에 맞추어 사용자는 스프링 부위 위에 자체 제작 드라이버 PCB를 솔더 패드(solder pad)를 통해 전기적으로 연결할 수 있는데 이 방식은 신뢰성이 높다.

- \* 최적화된 드라이버가 내장된 IPM형

IPM형은 하프브리지 IGBT 구동용으로 다음과 같은 드라이버 기능들이 갖추어져 있다: 일차와 이차 측 사이의 절연, 상부 및 하부 IGBT에 대한 턴-온/턴-오프 펄스 신호, 인터록과 데드타임, Vce모니터링(de-saturation monitoring), 파워서플라이 저전압 차단

## 5. 결론

이상에서 기술한 새로운 IGBT플랫폼은 기존의 파워 모듈 디자인이 가지고 있던 여러 가지 단점을 극복했다. 또한 새로운 세대의 IGBT 및 프리휠링 다이오드를 채용하고 이에 맞는 내부 설계를 함으로써 새로운 칩들이 갖고 있는 장점들을 최적화하여 이용할 수 있게 되었다. 또한 SEMiX 모듈은 다양한 드라이버 인터페이스를 갖추고 있을 뿐만 아니라, 온도 센서 및 과전압보호를 위한 보조 컬렉터 터미널 등의 기본적인 보호 요소들을 갖추고 있다. 모듈 디자인이 컴팩트하기 때문에 고효율 컨버터를 컴팩트하고 저렴하게 설계할 수 있다.

SEMiX는 새로운 구조와 새로운 레이아웃 접근법을 채용함으로써, 쉽게 다른 버전의 모듈을 만들 수 있고 어플리케이션의 요구에 따라 빠르고 유연하게 새로운 타입을 만들어 낼 수 있는 유연성있는 신개념 IGBT모듈이다. 

## 〈 저 자 소 개 〉



### **Martin Freyberg**

Martin Freyberg studied electrotechnical engineering at the University of Karlsruhe/Germany. 1995-1997 Development Engineer for traction auxiliary converters at Bombardier Berlin. 1998-2001 Application Engineer and Manager Application Team for custom-specific power supply solutions at Power-One Germany. From September 2001 to August 2003 Application Engineer for power semiconductor modules at SEMIKRON International Germany. Since September 2003 responsible Product Manager of SEMiXTM IGBT module family.



### **김대희(金大熙)**

1960년 3월 10일생. 1984년 고려대 전자공학과 졸업. 1997년 동 산업대학원 전기공학과 졸업(석사) 1985~1986년 삼성반도체통신 근무. 1986년~1991년 씨 멘스 코리아 근무. 1992~2001년 전력전자 관련 무역업 종사. 2002~현재 세미크론 영업 및 마케팅 이사.