

고성능 전력 모듈의 패키징 특성

Attributes of high-performance power module packaging

바이코는 전력분배 아키텍처 및 제어 시스템, 토폴로지 및 패키징 등 4가지 주요 기술 영역을 지속적으로 발전시킴으로써 앞으로도 모듈식 고성능 전력분배 네트워크(PDN)를 선도하게 될 것이다. 각 영역은 고객들이 고성능 컴퓨팅과 전기자동차, 위성통신 및 산업용 애플리케이션의 첨단 시스템 개발을 위해 필요한 성능을 달성하는데 필수적이다. 그러나 전력 모듈 패키지는 이러한 혁신의 모든 요소들과 소재 과학 및 탁월한 독창성이 결합되어야 밀도 및 효율성과 관련한 중요한 성능 지수를 달성할 수 있다.

글/Phil Davies, Corporate Vice President

바이코(Vicor)는 최초의 브릭(Brick) 타입에서 최신 ChiP™(Converter housed in Package)에 이르기까지 전력 시스템 엔지니어에게 고성능 솔루션을 제공하기 위한 혁신을 거듭해 왔다. 이러한 혁신은 전력분배 아키텍처를 비롯해 제어 시스템, 토폴로지 및 패키징 등 4가지 핵심 기술 영역에 지속적으로 집중해 온 결과이다.

4번째 주요 기술 요소인 전력 모듈 패키징은 바이코가 비즈니스를 시작한 초기부터 독보적인 차별화 요소로 자리매김했다. 고성능 전력 모듈 패키지를 위해서는 다음과 같은 몇 가지 속성이 필요하며, 바이코는 이를 지속적으로 발전시킴으로써 업계를 선도하고 있다:

- 높은 전력 및 전류 밀도
- 뛰어난 열처리 성능
- 통합 마그네틱
- 대량생산 PCB 어셈블리 기술과의 호환성
- 자동화 및 확장 가능한 대량생산

높은 전류 및 전력 밀도

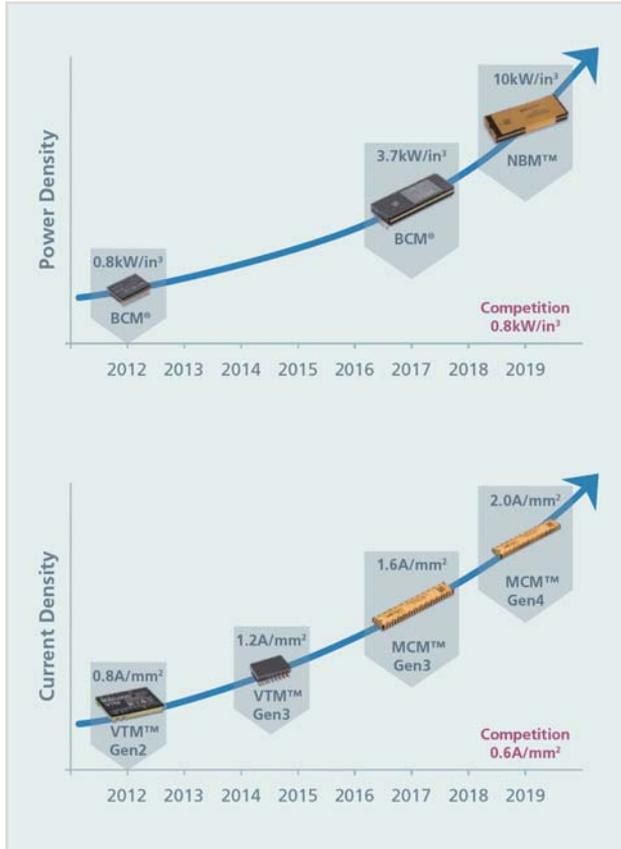
바이코는 각 전력 모듈 패키지 개발 단계마다 새로운 소재

From the first Brick to today's ChiP™(Converter housed in Package), Vicor has been continually innovating to deliver higher-performance solutions to power-system engineers. These innovations are a result of a steadfast focus on advancing four essential technology pillars: power delivery architectures, control systems, topologies and packaging.

The fourth pillar, power module packaging, has been a unique differentiator for Vicor since its inception. There are several attributes that enable a high-performance power module package, and Vicor consistently leads the industry in advancing each one:

- High power and current density
- Thermal adeptness
- Integrated magnetics
- Compatibility with high-volume PCB assembly techniques
- Automated and scalable high-volume manufacturing

그림 1. 4가지 혁신 영역을 지속적으로 발전시킴으로써 전력손실을 2.5년마다 25%씩 줄여 전력 및 전류 밀도가 크게 향상되었다.



와 액티브 및 패시브 컴포넌트를 활용했으며, 특히 더 높은 스위칭 주파수를 기반으로 마그네틱 구조를 개선해 왔다. 더 높은 주파수는 바이코의 독보적인 제어 ASIC에 통합된 토폴로지 및 제어 시스템을 개선함으로써 달성되었다. 이러한 ASIC은 최근 4세대 제품이 출시되면서 전력 밀도와 전류 밀도가 각각 10kW/in³ 및 2A/mm²까지 향상됨에 따라 새로운 AC 및 DC 고전력 프론트 엔드 컨버터와 PoL(Point of Load) 전류 멀티플라이어 제품군 개발이 가능하게 되었다. 이러한 최신 세대의 모듈식 전력 솔루션은 수많은 산업 분야에서 전력 분배 네트워크(PDN: Power Delivery Network)의 아키텍처 및 설계 방식을 변화시키고 있다.

열적으로 뛰어난 패키징

컴포넌트가 배치되는 전력 모듈 내부의 다층 회로 기판은

High current and power density

Each step of Vicor power module package development leveraged new materials, active and passive components and, most notably, improvements in magnetic structures based on higher switching frequencies. The higher frequencies are enabled by topology and control system improvements incorporated in proprietary Vicor control ASICs.

The recent launch of the fourth generation(Gen4) of these ASICs has enabled power density and current density numbers of 10kW/in³ and 2A/mm² respectively, enabling a new family of AC and DC high-power front-end converters and point-of-load(PoL) current multipliers. These latest generations of modular power solutions are changing the way power delivery networks(PDNs) are architected and designed in numerous industries.

Thermally-adept packaging

The multi-layer circuit boards within the power module on which components are placed are complex designs. They require special materials for optimal thermal conduction and to manage the flow of high currents and high voltages in tightly-packed spaces, all while minimizing power loss. The circuit boards also play a critical role in the assembly of the planar magnetics, which can be a source of major power loss.

Significant innovation has occurred over the years in the area of power module development. In 2015 Vicor introduced a new ChiP™ package which advanced power density with full double-sided component placement. It delivered heat extraction from both sides of the ChiP to maximize performance and power ratings. Two years later, the introduction of the copper-plated ChiP further advanced ChiP packaging, significantly simplifying thermal management by means of a wrap-around copper jacket.

상당히 설계가 복잡하다. 최적의 열 전도를 위해 특수 소재가 필요하고, 타이트하게 밀집된 공간에서 고전류 및 고전압 플로우를 관리하는 동시에 전력손실을 최소화해야 한다. 또한 회로 기판은 주요 전력 손실원이 될 수 있는 평판형 마그네틱 (Planar Magnetic) 어셈블리에서도 중요한 역할을 한다.

지난 몇 년 동안 전력 모듈 개발 분야에서 상당한 혁신이 이뤄졌다. 바이코는 2015년에 컴포넌트를 완벽하게 양면에 배치하여 전력 밀도를 향상시킨 새로운 ChiP 패키지를 출시했다. 이는 ChiP 양면에서 열을 제거하여 성능 및 전력 용량을 극대화한다. 2년 후에는 구리 재킷을 감싸는 방식으로 열 관리를 획기적으로 간소화한 구리 도금 ChiP 기반의 보다 향상된 ChiP 패키징이 출시되었다.

“바이코의 고정비율 컨버터(Fixed-Ratio Converter)는 새시 마운트 및 쓰루홀 마운트 패키지 옵션을 모두 활용하는 열적으로 뛰어난 ChiP 패키지를 적용하여 최대 98.8%의 효율성으로 800V~400V 양방향 변환을 지원하는 최대 50kW 어레이를 구현했다.”

통합 마그네틱

소재 과학은 특히 수 MHz 레벨에서 스위칭할 때 전력 패키지 성능을 향상시키는데 중요한 역할을 한다. 전력 모듈의 여러 마그네틱 컴포넌트 중 일부는 메인 전원 스위치를 위한 게이트 드라이브 회로와 관련이 있으며, 매우 작은 저전력 어셈블리이다. 게이트 드라이브 트랜스포머는 게이트 드라이브 손실을 최소화하는데 중요한 역할을 하며, 수년 또는 학습주기에 걸쳐 최적화되어 있다.

컨버터 또는 레귤레이터의 메인 에너지 저장 코어는 전체 모듈 성능에 중요한 역할을 하며, 전력 손실의 주요 원인 중 하나가 될 수 있다. 코어 및 권선, 그리고 PCB 소재 구성물질은 더 높은 스위칭 주파수와 더 높은 전력 레벨 및 더 낮은 출력 저항을 위해 지속적으로 최적화되고 있으며, 이를 통해 전력손실을 줄이고 효율성을 높일 수 있다. 에너지 저장 인덕터 또는 트랜스포머가 전력 모듈에 통합되어 성능이 극대

High-voltage and high-power Vicor fixed-ratio converters capitalize on the thermally-adept ChiP package by utilizing both chassis-mount and through-hole board-mount package options for up to 50kW arrays of 800V-to-400V bidirectional conversion at up to 98.8% efficiency.

“Vicor fixed-ratio converters capitalize on the thermally-adept ChiP package by utilizing both chassis-mount and through-hole board-mount package options for up to 50kW arrays of 800V-to-400V bidirectional conversion at up to 98.8% efficiency.”

Integrated magnetics

Materials science plays a big role in advancing power package performance, especially when switching at multiple-MHz levels. Of the several magnetic components in a power module, some are related to the gate-drive circuits for the main power switches and are very small, low-power assemblies. Gate-drive transformers play a major role in minimizing gate-drive losses and have been optimized over many years and cycles of learning.

The main energy storage core for the converter or regulator plays the critical role in overall module performance and can be one of the main sources of power loss. The core, its windings and PCB material compositions are continually optimized for higher switching frequencies, higher power levels and lower lower output resistances to reduce power losses and increase efficiencies. By integrating the energy storage inductor or transformer into the power module and maximizing its performance, the power-system designer is relieved of the often difficult and time-consuming process of optimizing the power converter magnetics,

회됨에 따라 전력 시스템 설계자는 상당히 어렵고, 시간이 많이 소요되는 전력 컨버터 마그네틱 최적화 프로세스를 수행할 필요가 없게 되었으며, 전체 전력 시스템의 설치 공간을 줄일 수 있다. 이러한 모든 중요한 설계 요소들을 갖추고 있는 바이코의 전력모듈 제품군 중 하나는 전류 멀티플라이어로, 이 제품은 현재 고성능 컴퓨팅 애플리케이션에서 일부 최첨단 GPU 및 AI 프로세서에 전력을 공급하고 있다. 바이코의 VTM™, MCM™, GCM™은 1,000A 이상을 제공할 수 있으며, 동시에 48V를 1V 미만으로 직접 변환할 수 있다. 이러한 디바이스에 통합된 평판형 마그네틱은 20년 이상 수명이 유지되도록 최적화되어 있으며, 조만간 더욱 개선될 예정인 전류 멀티플라이어는 2A/mm²에 이르는 전류 밀도 레벨을 달성할 수 있다.

대량 PCB 어셈블리 기술과의 호환성

표면실장 리플로우 솔더링은 전세계의 모든 대량생산 CM(Contract Manufacturer)에서 사용되고 있다. 바이코의 새로운 SM-ChiP은 표면실장 방식으로 PCB에 부착이 가능한 도금된 오버몰딩 패키지이며, CM 제조기술 및 장비와 호환된다. 이 패키지의 전기적 및 열적 연결은 모듈의 가장자리를 따라 도금된 캐스텔레이션(Castellation) 단자와 연속 도금된 메인 패키지 바디의 표면에 대한 솔더링 연결을 통해 이뤄진다. SM-ChiP은 주석-납 및 무연 솔더링 합금뿐만 아니라 수용성 및 무세척 플럭스 화학물질과도 호환되며, PCB에 선택적으로 배치할 수 있다. 또한 이 패키지는 다면 PCB 어셈블리를 위한 다중 리플로우를 견딜 수 있도록 설계되었다.

“바이코의 새로운 SMChiP™은 표면실장 방식으로 PCB에 부착이 가능한 도금된 오버몰딩 패키지이며, CM 제조기술 및 장비와 호환이 가능하다.”

자동화된 전력 모듈 대량생산

원래 바이코의 VI Chip® 패키지도 오버몰딩된 패키지였지만, 개별 캐비티 구조를 사용하여 제조되었다. 반면 새로운

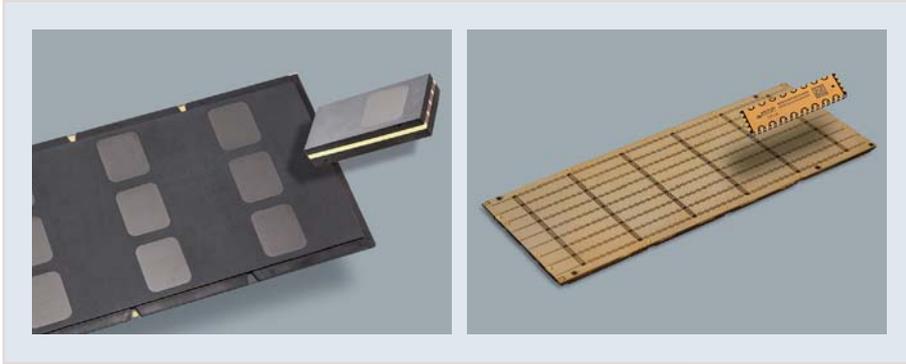
and they can achieve a reduction in the overall power system footprint. One Vicor power module family that captures all of these critical design elements is the current multiplier, which is now powering some of the most advanced GPUs and AI processors in high-performance computing applications. Vicor VTM™, MCM™ and GCM™ are capable of delivering over 1000 amps, while directly converting 48V to sub-1V levels. The integrated planar magnetics in these devices have been optimized over 20 years and current multipliers now achieve current density levels of 2A/mm² with even further advances planned for the near future.

Compatibility with high-volume PCB assembly techniques

Surface-mount reflow soldering is used by all of the high-volume contract manufacturers(CMs) around the world. The new Vicor SM-ChiP is a plated, overmolded package intended for surface-mount attachment to a printed circuit board and is compatible with CM manufacturing techniques and equipment. The electrical and thermal connections of the package are formed through soldered connections to plated castellation terminal features along the perimeter of the module and continuous plated surfaces of the main package body. SM-ChiPs are compatible with tin-lead and lead-free solder alloys as well as water-soluble and no-clean flux chemistries; they can also be picked-and-placed onto the PCB. The package has also been designed to withstand multiple reflows for multi-sided PCB assemblies.

“The new Vicor SM-ChiP is a plated, overmolded package intended for surface-mount attachment to a printed circuit board and is compatible with CM manufacturing techniques and equipment.”

그림 2. 새로운 패널 제조 공정은 전력 산업을 위한 또 다른 혁신이 되었다. ChiP은 모두 동일한 크기의 패널에서 커팅되기 때문에 자동화된 대량생산 공정이 가능하다.



ChiP은 표준 크기의 패널로 제작 및 커팅되었으며, 액티브 및 패시브 컴포넌트를 위해 모듈 내부의 PCB 양면을 모두 활용한다.

이러한 패키지의 열 관리는 성능과 전력 밀도를 극대화하기 위해 양면 냉각이 필요하다. 패널에서 ChiP을 만들고 커팅하는 것은 웨이퍼를 만들고 커팅하는 실리콘 칩 방식과 매우 유사하지만, 모듈의 전력 레벨, 전류 레벨 또는 전압 레벨에 상관없이 ChiP은 모두 동일한 크기의 패널에서 커팅되기 때문에 제조 공정이 능률적이고, 대량생산이 가능하며, 확장성이 뛰어나다.

결론

바이코는 전력분배 아키텍처 및 제어 시스템, 토폴로지 및 패키징 등 4가지 주요 기술 영역을 지속적으로 발전시킴으로써 앞으로도 모듈식 고성능 전력분배 네트워크(PDN)를 선도하게 될 것이다. 각 영역은 고객들이 고성능 컴퓨팅과 전기차 동차, 위성통신 및 산업용 애플리케이션의 첨단 시스템 개발을 위해 필요한 성능을 달성하는데 필수적이다. 그러나 전력 모듈 패키지는 이러한 혁신의 모든 요소들과 소재 과학 및 탁월한 독창성이 결합되어야 밀도 및 효율성과 관련한 중요한 성능 지수를 달성할 수 있다. **SN**

High-volume automated power module manufacturing

The original Vicor VI Chip[®] package was also an overmolded package but was manufactured using individual-cavity construction. In contrast, the new ChiP[™] is made and cut from a standard-size

panel and make full use of both sides of the module's internal PCB for active and passive components.

Thermal management of this package requires double-sided cooling to maximize performance and power density. Making and cutting ChiPs from panels is very similar the way silicon chips are made and cut from wafers, but whatever the power level, current level or voltage level of the module, ChiPs are all cut from the same size panel, enabling a manufacturing operation that is streamlined, high-volume and very scalable.

Conclusion

Vicor will remain on the forefront of delivering modular high-performance power delivery networks (PDNs) by continually advancing its four technology pillars of innovation: power delivery architectures, control systems, topologies and packaging. Each pillar is essential to achieving the performance that customers demand for their advanced systems development in high-performance computing, electrified vehicles, satellite communications and industrial applications. However, the power module package is where all of the elements of innovation come together, and where materials science and a great deal of ingenuity enable the critical performance metrics of density and efficiency. **SN**