차세대 광학 모듈의 전력 공급 요구 사항 살펴보기

Thomas Hoffmann
Marketing engineer, switching regulators

소개

데이터 전송 속도가 높아진다고 보드 공간이 더 넓어지지는 않으므로 보드 공간은 부족하게 됩니다. 특히 고속 플러그형 광학 모듈에서 더욱 그렇습니다. 네트워크는 400Gbps 및 800Gbps에서 1.6Tbps 이상으로 이동하는 반면, 쿼드 소형 폼팩터 이중 밀도, 옥탈 소형 폼팩터 플러그인과 같은 표준화된 폼팩터는 엄격하게 제한된 상태로 유지됩니다. 처리 성능과 전류 요구 사항이 증가함에 따라, 전력 관리 부품은 동일하게 고정된 공간 내에서 열을 처리해야 합니다.

광학 모듈의 핵심에 있는 DSP(디지털 신호 프로세서)는 전기 신호를 광신호로 변환한 다음, 다시 멀티 테라비트 속도로 되돌립니다. 최신 DSP는 1V 미만의 코어 전압에서 작동하며 상당한 전류를 끌어옵니다. 이러한 요구 사항은 새로운 세대의 광학 모듈마다 증가하고 있어 손실, 열 또는 전자기 잡음을 추가하지 않고 더 적은 공간에서 더 높은 전류를 공급하기 어렵게 만듭니다.

이러한 상황에서, 전력 패키지에 자기 부품을 직접 통합하는 한 가지 접근 방식은 여러 설계 과제를 동시에 해결합니다. 자기 패키징 기술이 통합된 전원 모듈은 패키지 구조의 일부로 금속 몰드 컴파운드를 사용합니다. 따라서 전력계는 더 이상 나중에 고려되는 요소가 아니라 전체 시스템 아키텍처의 일부가 되었습니다.

시스템 아키텍처 및 전력 요구 사항

광학 모듈은 DSP, 클록 및 데이터 복구 회로, 기어박스, 레이저 드라이버, 포토다이오드, 트랜스임피던스 증폭기, 전력 관리 및 제어 전자 장치 등 광범위한 기능을 통합한 것입니다. 이 중에서 DSP 코어 전원 공급 장치는 가장 까다로운 레일 중 하나로, 코어 전압은 0.4V에서 1.0V 사이이고 전류는 수십 암페어에 이릅니다. 이러한 부하는 고전류(10A 미만, 빨간색 원) 및 저전류(2A/4A/6A, 파란색 원) 전원 모듈에 의해 처리됩니다(**그림 1**).

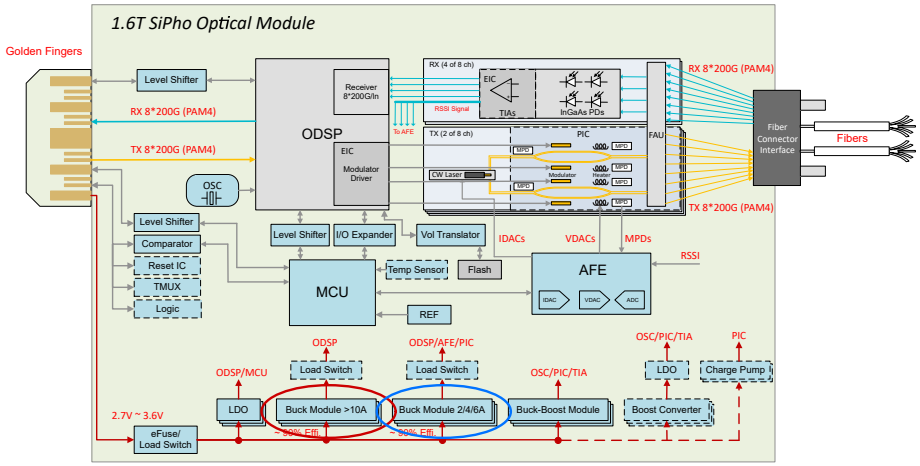

그림 1. *1.6Tbps 광학 모듈의 시스템 블록 다이어그램*

큰 시스템에서는 약간의 와트 전력이 미미한 수준일 수 있지만, 일반적으로 공기 흐름이 제한되고 여러 발열 부품이 조밀하게 밀집되어 있는 소형 광학 모듈 내부에서는 그렇지 않습니다.

전력 소비를 줄이는 한 가지 방법은 작동 조건에 맞게 DSP 공급 전압을 조정하는 것입니다. 일부 시스템은 특성화 중에 선택된 고정 전압을 사용하는 반면, 다른 시스템은 DVS(동적 전압 스케일링)를 지원합니다. DSP는 신호 품질이 좋지 않거나 온도가 높을 때는 더 높은 전압에서 작동하고, 조건이 허용할 때는 더 낮은 전압에서 작동할 수 있습니다. 그 영향은 상당할 수 있습니다. 15A 코어 레일을 0.9V에서 0.5V로 낮추면 부하 전력이 6W 감소하며, 이는 모듈의 총 전력 예산이 불과 수십 와트에 불과할 때 상당한 감소입니다.

DVS는 또한 레귤레이터가 단순한 전압 변환 그 이상을 필요로 할 수 있음을 의미합니다. 예를 들어 I^2C 인터페이스를 사용하면 시스템 컨트롤러가 작동 중에 출력 전압이나 작동 모드를 조정할 수 있습니다. 그러나 제어 유연성 자체만으로는 가용한 공간 내에 전력계를 맞추어야 한다는 설계 과제를 해결하지 못합니다.

인덕터에 주의가 필요한 이유

기존의 스텝다운 DC/DC 컨버터에서 레귤레이터 IC(집적 회로)와 전원 인덕터는 별개의 부품입니다. 인덕터는 종종 전력계에서 가장 큰 부품 중 하나입니다. 보드 면적을 차지하고 높이를 더하기 때문에 신중한 배치가 필요합니다. 게다가 스위칭 노드와 인덕터 사이의 연결은 빠르고 고전류인 파형도 전달합니다. 손실과 EMI(전자기 간섭) 방출을 관리하는 것은 더 큰 PCB(인쇄 회로 보드)에서는 간단하지만, 광학 모듈 내부에서는 상당히 큰 과제입니다.

광학 모듈 내부에서는 수 제곱 밀리미터라도 중요합니다. 여러 전원 레일이 이미 고속 신호 라우팅 및 민감한 아날로그 회로와 공간을 놓고 경쟁하고 있을 수 있습니다. 인덕터를 전원 모듈에 통합하면 외부 부품 수가 줄어들지만, 물리적 구현이 중요합니다. 기존의 통합 모듈은 인덕터를 실리콘 옆이나 위에 배치하므로 풋프린트, 패키지 높이 또는 열 흐름을 희생할 수밖에 없습니다.

자기 부품을 패키지에 직접 통합하면 이러한 문제가 다소 해소됩니다. TI의 MagPack™ 기술을 활용하는 전원 모듈은 반도체 다이 및 스위칭 회로 주변의 패키지 구조 일부에 금속 몰드 재질을 사용합니다. 시스템 설계자의 입장에서 스위칭 노드를 패키지 내부에 유지하면 외부 인덕터를 선택하고 라우팅할 필요가 없어지므로 전체 전력 모듈 설계가 간소화됩니다.

6A **TPSM82866C** 모듈은 2.3mm x 3mm x 1mm의 크기로 최대 6A의 연속 출력 전류를 제공합니다. 이 완전한 솔루션 풋프린트는 6.9mm^2의 PCB 공간만을 차지하여 1mm^2당 거의 1A를 공급합니다. 이는 이전 세대에 비해 50%의 솔루션 크기 감소입니다.

광학 모듈의 증가하는 전력과 열 요구 사항을 충족하기 위해 TI의 차세대 50A 전원 모듈은 전류 기능을 크게 증가시켰습니다. 30A **TPSM8287B30**은 450mA/mm^2의 밀도로 광범위한 요구를 충족하며, **TPSM8287C50**은 유사한 풋프린트 내에서 50A의 전류(590mA/mm^2)를 공급합니다(**그림 2**). 덕분에 설계자는 전력계의 풋프린트를 크게 확장하지 않고도 총 전류 공급을 30% 늘릴 수 있어 1.6Tbps 이상의 데이터 전송 속도에 대한 전류 밀도 요구 사항을 충족할 수 있습니다.

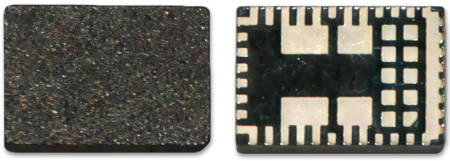

그림 2. *TI의 TPSM8287C50 전원 모듈은 4.5mm x 6.7mm x 2.85mm 풋프린트로 최대 50A의 연속 출력 전류를 제공합니다.*

작은 크기는 열을 방출할 수 있는 경우에만 유용

더 작은 영역에 더 많은 전류를 투입하면 열 밀도가 높아집니다. 소형 컨버터는 효율과 열 성능이 크기 감소에 보조를 맞출 수 있을 때만 도움이 됩니다. 통합 패키지의 자기 요소를 실리콘과 함께 최적화하면 DC 및 AC 손실을 줄이는 데 도움이 되며, 패키지 자체는 다이에서 열을 분산시키는 데 도움이 될 수 있습니다.

두 장점 모두 광학 모듈에서 중요합니다. DSP, 레이저 및 아날로그 회로는 이미 열 부하에 기여하고 있으며, 고정된 폼팩터는 냉각 옵션을 제한합니다. 전력계가 너무 뜨거워지면 성능을 낮추거나, 기계적 열 경로를 개선하거나, 고온에서 작동 여유를 낮추는 등의 방법을 선택할 수밖에 없습니다.

전류 정격만으로는 컨버터가 광학 모듈에서 잘 작동할지 여부를 알 수 없습니다. 설계자는 또한 실제 작동 지점에서의 효율, 온도 상승 및 SOA(안전 작동 영역)를 살펴봐야 합니다. 문제는 컨버터가 전류를 공급할 수 있는지 여부가 아니라, 모듈의 실제 열 환경 내에서 그렇게 할 수 있는지 여부입니다. **그림 3**은(는) 5.0V 입력 전압을 가진 TI 30A TPSM8287B30 전원 모듈의 SOA 곡선을 보여줍니다.

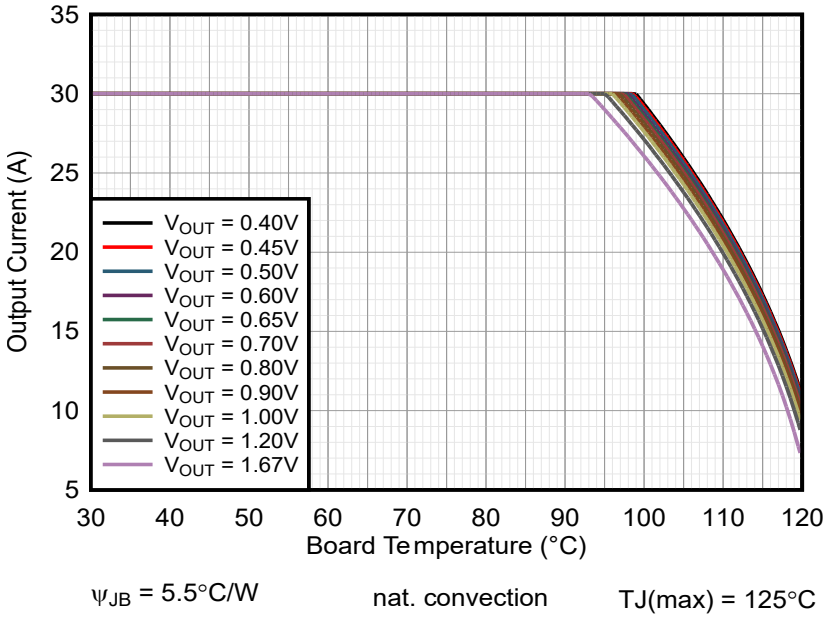

그림 3. *V_{IN} = 5.0V일 때 TPSM8287B30 전원 모듈의 SOA 곡선*

동시에 EMI도 고려

밀도는 열 문제뿐만 아니라 EMI 문제도 야기합니다. 광학 모듈에서는 민감한 전송 및 수신 회로 가까이에 고전류 스위칭 전원 공급 장치가 배치됩니다. 개별 벅 컨버터에서 스위칭 노드와 외부 인덕터 사이의 경로는 잡음의 주요 원인입니다. 고전류 및 높은 스위칭 주파수에서는 작은 루프 영역이라도 상당한 원치 않는 방출을 생성할 수 있습니다. 차폐, 필터링을 추가하거나 전원 공급 장치를 민감한 회로에서 더 멀리 이동시키면 이를 완화할 수 있지만, 이러한 방식은 보드 공간이 더 필요하고 부품 수도 늘어납니다.

통합 자기 패키징은 다이, 인덕터 및 스위칭 노드를 하나의 차폐 패키지 내에 통합하여 내부 스위칭 루프 영역을 크게 줄임으로써 이러한 EMI 문제를 해결합니다. **그림 4**은(는) MagPack 기술이 적용된 6A 전력 모듈의 방사 방출 수준을 보여줍니다. 30MHz~1GHz 범위에서 CISPR(국제 무선 간섭 위원회) 32 클래스 A 및 클래스 B(3m) 제한보다 훨씬 낮은 방사 방출 수준을 유지함을 볼 수 있습니다.

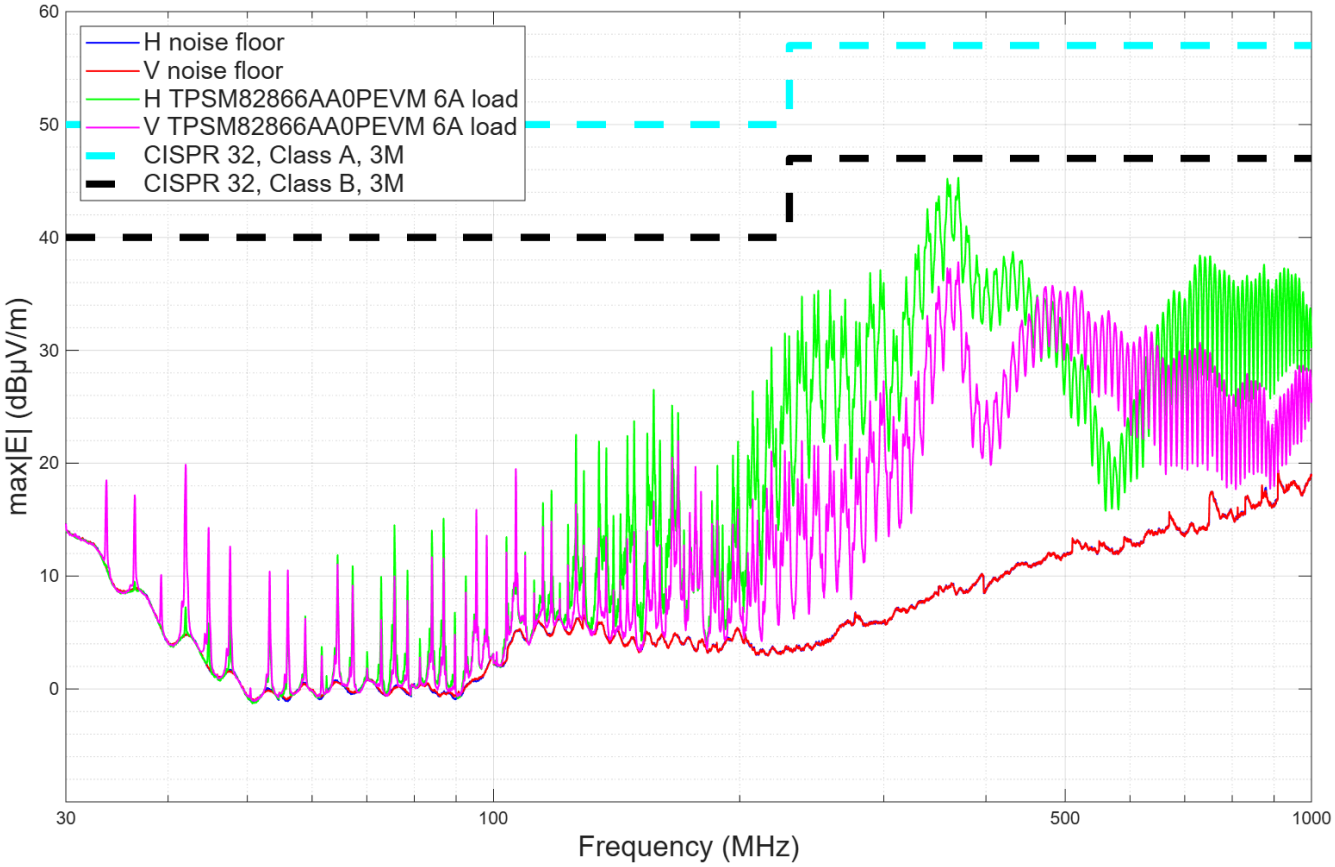

그림 4. *MagPack 기술이 적용된 6A 전력 모듈의 방사 EMI 성능, 30MHz~1GHz에서 CISPR32 클래스 A와 클래스 B 제한 준수*

낮은 방출은 유용하지만, 방출이 낮음으로 인해 부품을 유연하게 배치할 수 있다는 점도 중요합니다. 레귤레이터가 DSP에 더 가깝게 위치할 수 있다면, 공급 장치와 부하 사이의 고전류 경로가 짧아져 저항성 전압 강하와 기생 임피던스가 감소합니다. 코어 전압이 1V 아래로 떨어짐에 따라 두 요소 모두 레귤레이션 정확도를 유지하는 데 점점 더 중요해지고 있습니다. EMI는 부품 배치에 영향을 미치고, 부품 배치는 전력 무결성에 영향을 미치며, 두 요소 모두 모듈의 나머지 부품을 위해 남겨진 보드 영역의 크기에 영향을 미칩니다. 이는 설계 제약 조건을 독립적으로 볼 수 없는 이유를 보여주는 예입니다.

결론

광학 모듈이 더 높은 데이터 전송 속도로 발전함에 따라, 전력 공급은 모듈의 기계적, 열적 및 전기적 설계와 더욱 긴밀한 관계를 가지게 되었습니다. MagPack 기술과 같은 통합 자기 패키징은 전력계의 풋프린트를 줄이고, 스위칭 경로를 단축하며, 열과 EMI 성능을 모두 향상시킴으로써 이러한 과제를 해결하는 데 도움을 줍니다.

그러나 통합 자기 패키징에도 철저한 설계와 검증은 필요합니다. 전류 용량, 스위칭 주파수, 보상, 제어 전략, 패시브 부품 및 PCB 배치에는 여전히 신중한 최적화가 필요합니다. 설계자는 평가 보드 결과에만 의존하지 않고 최종 인클로저 내의 열 동작과 EMI 성능을 검증해야 합니다.

차세대 광학 모듈에서 데이터 속도가 증가함에 따라, 주요 제한 요인은 DSP나 광학 부품이 아니라, "가용한 공간과 열 예산 내에서 얼마나 조용하고 효율적으로 전력을 공급할 수 있는가"일 수 있습니다.

작성자 소개

Thomas Hoffmann은 데이터 센터와 데이터 통신 모듈 부문을 전문으로 하는 마케팅 엔지니어입니다. 하드웨어 설계, 제품 정의 및 제품 홍보를 아우르는 전자 산업 분야에서 30년 이상의 경력을 가지고 있습니다. Thomas는 독일 부퍼탈에 위치한 BUGH(Bergische Universität Gesamthochschule Wuppertal)에서 전기공학 석사 학위를 취득했습니다.

추가 리소스

- 애플리케이션 개요 "**소형 벅 전력 모듈의 높은 열 성능 달성**"과 애플리케이션 노트 "**고출력 전류 및 온도에서 작동하기 위한 SOA 곡선 이해**"를 읽어보십시오.
- 이 기술 문서는 MagPack 기술인 "**MagPack 기술: 더 적은 공간에 더 많은 전력을 담을 수 있는 새로운 전력 모듈의 4가지 이점**" 및 "**전력 모듈 패키지 유형 및 장점**"을 다룹니다.
- "**향상된 EMI 성능을 위해 MagPack 패키징 기술을 활용하는 TI의 전원 모듈**" 및 "**밀도 두 배로 높이기: MagPack 기술로 전원 모듈 재구성**" 비디오를 시청해 보십시오.

중요 알림: 이 문서에 기술된 텍사스 인스트루먼트의 제품과 서비스는 TI의 판매 표준 약관에 의거하여 판매됩니다. TI 제품과 서비스에 대한 최신 정보를 완전히 숙지하신 후 제품을 주문해 주시기 바랍니다. TI는 애플리케이션 지원, 고객의 애플리케이션 또는 제품 설계, 소프트웨어 성능 또는 특허권 침해에 대해 책임을 지지 않습니다. 다른 모든 회사의 제품 또는 서비스에 관한 정보 공개는 TI가 승인, 보증 또는 동의한 것으로 간주되지 않습니다.

MagPack™ is a trademark of Texas Instruments.
모든 상표는 해당 소유권자의 자산입니다.

© 2026 Texas Instruments Incorporated

IMPORTANT NOTICE AND DISCLAIMER

TI PROVIDES TECHNICAL AND RELIABILITY DATA (INCLUDING DATASHEETS), DESIGN RESOURCES (INCLUDING REFERENCE DESIGNS), APPLICATION OR OTHER DESIGN ADVICE, WEB TOOLS, SAFETY INFORMATION, AND OTHER RESOURCES “AS IS” AND WITH ALL FAULTS, AND DISCLAIMS ALL WARRANTIES, EXPRESS AND IMPLIED, INCLUDING WITHOUT LIMITATION ANY IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY, FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE OR NON-INFRINGEMENT OF THIRD PARTY INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS.

These resources are intended for skilled developers designing with TI products. You are solely responsible for (1) selecting the appropriate TI products for your application, (2) designing, validating and testing your application, and (3) ensuring your application meets applicable standards, and any other safety, security, regulatory or other requirements.

These resources are subject to change without notice. TI grants you permission to use these resources only for development of an application that uses the TI products described in the resource. Other reproduction and display of these resources is prohibited. No license is granted to any other TI intellectual property right or to any third party intellectual property right. TI disclaims responsibility for, and you fully indemnify TI and its representatives against any claims, damages, costs, losses, and liabilities arising out of your use of these resources.

TI’s products are provided subject to TI’s Terms of Sale, TI’s General Quality Guidelines, or other applicable terms available either on ti.com or provided in conjunction with such TI products. TI’s provision of these resources does not expand or otherwise alter TI’s applicable warranties or warranty disclaimers for TI products. Unless TI explicitly designates a product as custom or customer-specified, TI products are standard, catalog, general purpose devices.

TI objects to and rejects any additional or different terms you may propose.

Copyright © 2026, Texas Instruments Incorporated

Last updated 10/2025