# 次世代光モジュールの電力供給要件に対応

**Thomas Hoffmann**
Marketing engineer, switching regulators

## 概要

データ レートが向上しても基板面積が増えるわけではなく、特に高速プラグアブル光モジュールで顕著です。ネットワークは 400Gbps および 800Gbps から 1.6Tbps 以上へと移行していますが、クアッド小型フォーム ファクタ倍密度や光フォーム ファクタ プラグアブルなどの、標準化されたフォーム ファクタは引き続き厳しく制限されています。処理能力と電流要件が増大するなか、電源管理コンポーネントは同じ固定寸法内で熱に対処する必要があります。

光モジュールの中心部では、デジタル信号プロセッサ (DSP) がマルチテラビット速度で電気信号を光信号に変換し、相互に変換します。現代の DSP は 1V 未満のコア電圧で動作しながら大きな電流を引き込んでおり、光モジュールの世代が代わるごとにその要求は高まっています。そのため、損失、熱、電磁気ノイズを増加させることなく、より狭いスペースでより高い電流を給電することが困難になっています。

1 つのアプローチとして、磁性素子を電源パッケージ内に直接統合する方法があり、これにより複数の設計上の課題を一度に解決できます。磁性素子統合パッケージング技術を採用したパワー モジュールは、パッケージ構造の一部として金属モールド化合物を使用しています。その結果、電力段はもはや後付けの存在ではなく、システム アーキテクチャ全体の一部となっています。

## システム アーキテクチャと電源要件

光モジュールには、DSP、クロック / データ リカバリ回路、ギアボックス、レーザー ドライバ、フォトダイオード、トランスインピーダンス アンプ、電源管理および制御エレクトロニクスなど、幅広い機能が集約されています。これらの中でも、DSP コア電源は多くの場合最も要求の厳しいレールであり、コア電圧は 0.4V ～ 1.0V、電流は数十アンペアに達します。これらの負荷には、大電流 (>10A、赤丸) と小電流 (2A/4A/6A、青丸) の両方のパワー モジュールが対応します (**図 1**)。

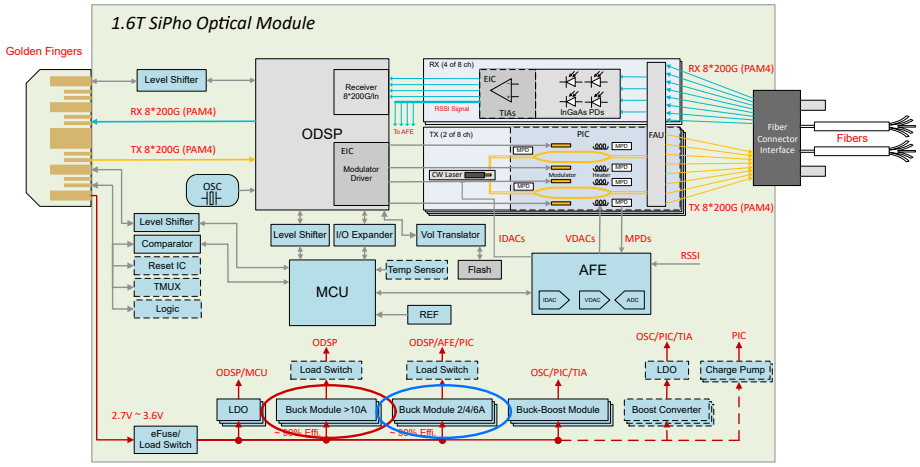



***図 1.*** *1.6Tbps 光モジュールのシステム ブロック図*

このようなレベルでは、大型システムであればわずか数ワットの電力消費は無視できるかもしれませんが、通常エアフローが制限され、発熱部品が密接して配置されている小型光モジュール内部では無視できません。

消費電力を削減する 1 つの方法は、動作条件に合わせて DSP の供給電圧を調整することです。特性評価時に選択された固定電圧を使用するシステムもあれば、ダイナミック ボルテージ スケーリング (DVS) をサポートするシステムもあります。DSP は、信号品質が悪い場合や温度が高い場合は高い電圧で動作し、条件が許せば低い電圧で動作します。その影響は大きく、たとえば 15A のコア レールを 0.9V から 0.5V に下げると負荷電力が 6W 削減されます。これはモジュール全体の電力予算が数十ワット程度の場合、大幅な削減となります。

また、DVS の採用はレギュレータに単なる電圧変換以上の機能が必要になることを意味します。たとえば、$I^2C$ インターフェイスを使用すると、システム コントローラは動作中に出力電圧や動作モードを調整できます。しかし、制御の柔軟性だけでは、利用可能なスペース内に電力段を収めるという設計上の課題を解決することはできません。

## インダクタに着目すべき理由

従来の降圧 DC/DC コンバータでは、レギュレータ集積回路 (IC) とパワー インダクタは別々の部品です。多くの場合、インダクタは電力段の最大規模の素子の 1 つを表しています。基板面積を占有し、高さも増すため、慎重な配置が必要です。さらに、スイッチング ノードとインダクタ間の接続には、高速かつ大電流の波形も流れます。大型プリント基板 (PCB) であれば、これによって生じる損失や電磁干渉 (EMI) 放射の管理は容易ですが、光モジュール内部では非常に大きな課題となります。

光モジュールの内部では、数平方ミリメートル単位のスペースが重要になります。複数の電源レールが、高速信号配線や感度の高いアナログ回路とスペースを奪い合っている可能性があります。インダクタをパワー モジュールに統合することにより外部部品点数は削減されますが、物理的な実装方法がきわめて重要です。従来の統合型モジュールでは、インダクタをシリコンの横または上に配置する場合があり、フットプリント、パッケージ高さ、または熱流において妥協を強いられることがあります。

磁気素子をパッケージに直接組み込むことにより、この統合性が向上します。TI の MagPack™ テクノロジを活用したパワー モジュールは、半導体ダイおよびスイッチング回路周辺のパッケージ構造の一部として金属モールディング材を使用しています。システム設計者にとって、スイッチング ノードをパッケージ内部に統合したまま維持することにより、外部インダクタの選定や配線が不要になり、パワー モジュール全体の設計が簡素化されます。

6A の **TPSM82866C** モジュールは寸法が 2.3mm x 3mm x 1mm で、最大 6A の連続出力電流を供給します。この完全なソリューションのフットプリントは PCB スペースのわずか 6.9$mm^2$ しか占有せず、1$mm^2$ あたりほぼ 1A を達成しており、前世代と比較してソリューション サイズが 50% 削減されています。

光モジュールの増大する電力要件および熱要件を満たすため、TI の次世代 50A パワー モジュールは電流供給能力を大幅に向上させています。30A の **TPSM8287B30** が 450mA/$mm^2$ の密度を達成し幅広いニーズに対応する一方で、**TPSM8287C50** は同等のフットプリント内で 50A の電流 (590mA/$mm^2$) を供給します (**図 2**)。これにより設計者は、電力段のフットプリントを大幅に拡大することなく総供給電流を 30% 増加させることができ、1.6Tbps 以上に求められる電流密度要件を満たすことが可能になります。

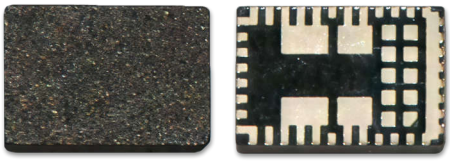


***図 2.*** *TI の TPSM8287C50 パワー モジュールは、4.5mm x 6.7mm x 2.85mm のフットプリントで最大 50A の連続出力電流を供給*

## 小型化は熱を除去できて初めて意味を持つ

より狭い面積により多くの電流を流すと、熱密度が高くなります。小型コンバータが役に立つのは、効率と放熱性能がサイズの縮小に追従している場合のみです。統合パッケージ内でシリコンとともに磁気素子を最適化することにより DC 損失および AC 損失の低減に役立ち、パッケージ自体がダイからの放熱を促進するのにも役立ちます。

光モジュールにおいては、どちらの利点も重要です。DSP、レーザー、アナログ回路はすでに熱負荷の原因となっており、固定されたフォーム ファクタにより冷却の選択肢が制限されます。電力段の温度が高くなりすぎた場合、選択肢は非常に限られます。性能を落とすか、機構的な放熱パスを改善するか、高温時の動作マージン低下を許容するかです。

電流定格だけでは、コンバータが光モジュール内で良好に動作するかどうかはわかりません。設計者は、実際の動作ポイントにおける効率、温度上昇、安全動作領域 (SOA) も確認する必要があります。単にコンバータが電流を供給できるかどうかが問題なのではなく、モジュールの実際の熱環境内でそれを供給できるかどうかが問題なのです。**図 3** は、入力電圧 5.0V における TI の 30A TPSM8287B30 パワー モジュールの SOA 曲線を示しています。

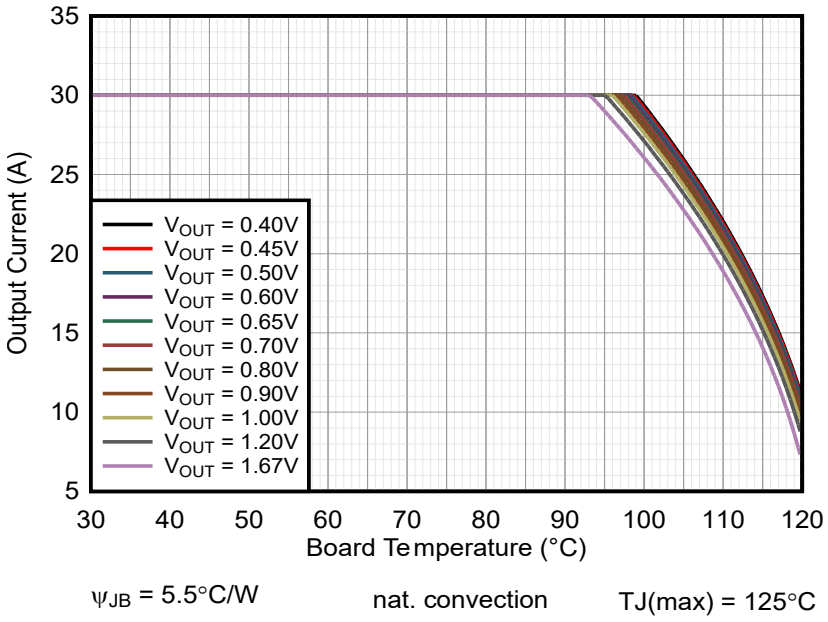



***図 3.*** *$V_{IN}$ = 5.0V における TPSM8287B30 パワー モジュールの SOA 曲線*

## EMI の同時考慮

熱問題を引き起こす高密度化は、潜在的な EMI の問題ももたらします。光モジュールでは、大電流スイッチング電源が感度の高い送信および受信回路の近くに配置されます。ディスクリート降圧コンバータでは、スイッチング ノードと外部インダクタ間のパスがノイズの主な発生源であり、大電流および高スイッチング周波数では、ループ面積が小さくても重大な不要放射が発生する可能性があります。シールドの追加、フィルタリング、または電源を感度の高い回路から遠ざけることによりこれを緩和できますが、いずれのアプローチも追加の基板面積または部品数を消費します。

磁性素子統合パッケージングは、ダイ、インダクタ、スイッチング ノードを単一のシールド パッケージ内に封止することにより、内部のスイッチング ループ面積を劇的に削減し、これらの EMI 課題に対処します。**図 4** は、MagPack テクノロジを採用した 6A パワー モジュールが、30MHz ～ 1GHz の範囲全体で、CISPR (国際無線障害特別委員会) 32 クラス A およびクラス B (3m) の両方の制限値を大幅に下回る放射エミッション レベルを維持することを示しています。

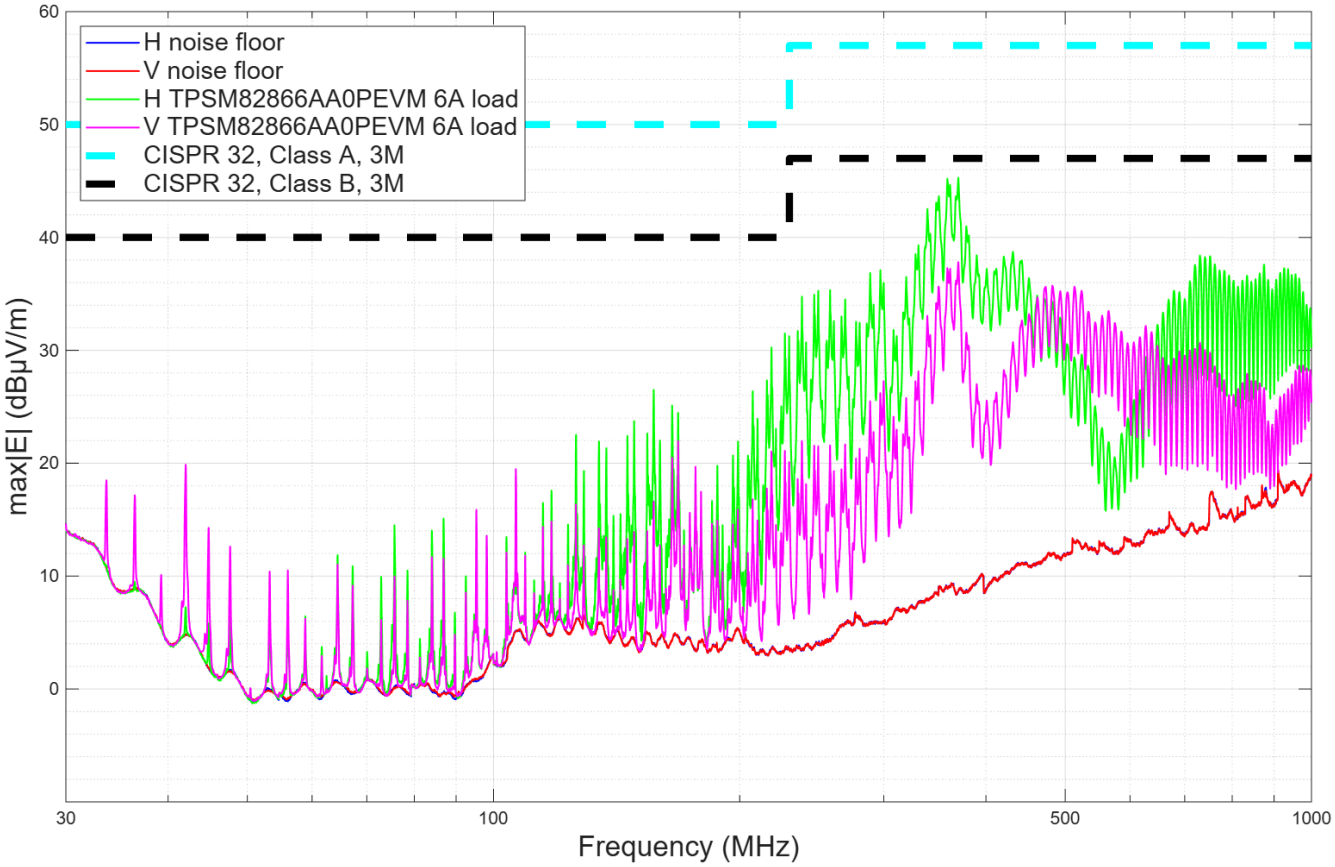



***図 4.*** *30MHz ～ 1GHz における MagPack テクノロジ採用 6A パワー モジュールの放射 EMI 性能、CISPR32 クラス A およびクラス B 制限値への適合性を実証*

エミッションの低減は有効ですが、それによって得られる配置の柔軟性も同様に重要です。レギュレータを DSP の近くに配置できれば、電源と負荷の間の大電流パスが短くなり、抵抗性電圧降下と寄生インピーダンスが低減されます。コア電圧が 1V を下回るにつれて、レギュレーション精度を維持する上で、両方の要因がますます重要になります。EMI は配置に影響し、配置はパワー インテグリティに影響し、両方がモジュールの残りの部分に残される基板面積に影響を与えます。これは、設計上の制約を切り離して検討できない理由の一例です。

## まとめ

光モジュールがより高いデータ レートへと移行するにつれて、電力供給はモジュールの機構設計、熱設計、および電気設計とより密接に結び付くようになります。MagPack テクノロジなどの統合型磁気パッケージングは、電力段のフットプリント縮小、スイッチング パスの短縮、放熱性能および EMI 性能の両方の向上により、これらの課題の解決に役立ちます。

ただし、統合型磁気パッケージングを採用したからといって、徹底した設計と検証の必要性がなくなるわけではありません。電流能力、スイッチング周波数、位相補償、制御戦略、受動部品、PCB 配置については、依然として慎重な最適化が必要です。設計者は評価ボードの結果だけに頼るのではなく、最終的な筐体内部での熱挙動および EMI 性能を検証する必要があります。

次世代光モジュールでデータ レートが向上するなか、主な制限要因は DSP や光学部品ではなく、利用可能なスペースと熱予算の範囲内で、いかに静かで効率的にそれらに電力を供給できるかという点になる可能性があります。

## 著者について

Thomas Hoffmann は、データ センターおよびデータ通信モジュールを担当するマーケティング エンジニアです。エレクトロニクス業界で 30 年以上の経験を持ち、ハードウェア設計、製品定義、製品プロモーションに携わってきました。Thomas は、ドイツのヴッパタールにある Bergische Universität Gesamthochschule Wuppertal (BUGH) で電気工学の修士号を取得しています。

## その他の資料

- アプリケーション ブリーフ『**小型降圧パワー モジュールで高い放熱性能を実現**』およびアプリケーション ノート『**高出力電流および温度で動作する SOA 曲線について**』をご覧ください。
- 次の技術記事では MagPack テクノロジについて説明しています。『**MagPack テクノロジ：より小規模なスペースで、より多くの電力を供給するのに役立つ、新しいパワー モジュールの 4 つの利点**』、『**パワー モジュールのパッケージ タイプとその利点**』
- ビデオ「**TI のパワー モジュールは MagPack パッケージ テクノロジを採用して EMI 性能を向上**」および「**密度を倍に：MagPack テクノロジによるパワー モジュールの再形成**」をご覧ください。

**重要なお知らせ**：ここに記載されているテキサス・インスツルメンツ社および子会社の製品およびサービスの購入には、TI の販売に関する標準の使用許諾契約への同意が必要です。お客様には、ご注文の前に、TI 製品とサービスに関する完全な最新情報のご入手をお勧め致します。TI は、アプリケーションに対する援助、お客様のアプリケーションまたは製品の設計、ソフトウェアのパフォーマンス、または特許の侵害に対して一切責任を負いません。ここに記載されている他の会社の製品またはサービスに関する情報は、TI による同意、保証、または承認を意図するものではありません。

MagPack™ is a trademark of Texas Instruments.
すべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。

© 2026 Texas Instruments Incorporated

# 重要なお知らせと免責事項

TI は、技術データと信頼性データ (データシートを含みます)、設計リソース (リファレンス デザインを含みます)、アプリケーションや設計に関する各種アドバイス、Web ツール、安全性情報、その他のリソースを、欠陥が存在する可能性のある「現状のまま」提供しており、商品性および特定目的に対する適合性の黙示保証、第三者の知的財産権の非侵害保証を含むいかなる保証も、明示的または黙示的にかかわらず拒否します。

これらのリソースは、TI 製品を使用する設計の経験を積んだ開発者への提供を意図したものです。(1) お客様のアプリケーションに適した TI 製品の選定、(2) お客様のアプリケーションの設計、検証、試験、(3) お客様のアプリケーションに該当する各種規格や、その他のあらゆる安全性、セキュリティ、規制、または他の要件への確実な適合に関する責任を、お客様のみが単独で負うものとします。

上記の各種リソースは、予告なく変更される可能性があります。これらのリソースは、リソースで説明されている TI 製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、TI はその使用をお客様に許諾します。これらのリソースに関して、他の目的で複製することや掲載することは禁止されています。TI や第三者の知的財産権のライセンスが付与されている訳ではありません。お客様は、これらのリソースを自身で使用した結果発生するあらゆる申し立て、損害、費用、損失、責任について、TI およびその代理人を完全に補償するものとし、TI は一切の責任を拒否します。

TI の製品は、 TI の販売条件 、 TI の総合的な品質ガイドライン 、 ti.com または TI 製品などに関連して提供される他の適用条件に従い提供されます。TI がこれらのリソースを提供することは、適用される TI の保証または他の保証の放棄の拡大や変更を意味するものではありません。 TI がカスタム、またはカスタマー仕様として明示的に指定していない限り、TI の製品は標準的なカタログに掲載される汎用機器です。

お客様がいかなる追加条項または代替条項を提案する場合も、TI はそれらに異議を唱え、拒否します。

Copyright © 2026, Texas Instruments Incorporated

最終更新日：2025 年 10 月