

Application Note

光モジュールにおけるアナログ マルチプレクサ アプリケーション



Rocky Chen

概要

データ センターでの AI コンピューティングの需要が急増し続ける今日、光モジュールは 800G および 1.6T から、CPO (コパッケージド オプティクス) や XPO^[1] (極高密度プラグابل オプティクス) のような超高密度フォーム ファクタへと急激に進歩しており、採用が急速に進んでいます。システム統合が拡大し続ける中、マイコン、ODSP、AFE などのコア チップに関連する IO リソースの制約がますます深刻なボトルネックになり、外部アナログ スイッチは信号チェーン設計に不可欠な補完製品になっています。

このアプリケーション ノートでは、TI のアナログ マルチプレクサ製品ポートフォリオの特性と、実用的な光モジュール設計要件に基づき、4 つの代表的なアプリケーション シナリオを紹介します。ePPS のタイミング同期、シリコン フォトニクス システムにおけるマルチチャネル信号ゲーティングおよびサンプリング、XPO プラットフォームでのバス拡張、ホットプラグの信頼性強化です。800G/1.6T および次世代光モジュール開発に役立つ実用的な設計リファレンスを提示します。

目次

1 概要.....	2
2 光モジュールにおける代表的なユーザー事例.....	3
2.1 ePPS 信号マルチプレクシング — TMUX131.....	3
2.2 マルチチャネル アナログ信号サンプリング — TMUX1108 ^[6] /TMUX1104.....	4
2.3 XPO-TMUX1309A における I2C/SPI 1:4 バス拡張.....	6
3 まとめ.....	7
4 参考資料.....	7

商標

すべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。

1 概要

代表的な光モジュール システムでは、接続、処理、制御が必要な複数の信号があります。

- アナログ電流検出:MPD、RSSI
- アナログ電圧検出:NTC
- バス プロトコル:I2C、I3C、SPI
- MSA プロトコル:INT/RST、LPW/PRS/ePPS

光通信のテクノロジーの急速な進歩と需要の増大に伴い、MCU/DSP/AFE の IO リソースの信号処理能力が不足する可能性があります。そのため、コンパクトなサイズのフォーム ファクタで新しい規格を実装する際に、統合のギャップが課題になります。

TI のマルチプレクサ / スイッチ製品ラインアップは、急成長を遂げている光ネットワーク分野における課題に対処するソリューションを提供する、業界で最も包括的なアナログ スイッチ提供元の 1 つです。

2 光モジュールにおける代表的なユーザー事例

2.1 ePPS 信号マルチプレクシング — TMUX131

最新のデータ センター スイッチおよびテレコム システムは、ナノ秒単位の時間同期を実現するために IEEE 1588 PTP に依存しています。モジュールの時間ドメインをシステム レベルの PTP クロックに整合させるために、スイッチ ホストからの PPS 信号が光モジュールに供給されます。これにより、すべてのモジュールが時間整合を維持できます。これは、パラレル光チャネルにおけるコヒーレントビームフォーミング、位相マッチング、およびデータ整合性にとって重要です。ePPS 機能の採用は、OSFP-XD^[3] の大幅な進化を意味します。これは、単純なデータトランシーバから、正確に同期されたネットワーク アーキテクチャに参加できるタイミング対応のインテリジェント光モジュールへの移行です。

プロトコル仕様に従って、ePPS 信号は OSFP LPWn/PRSn ピンにマルチプレクシングされます。図 2 に示すように、TMUX131 (2 チャネル、1:3) を使用して、ホストからモジュールに送信される LPW 信号と ePPS 信号のマルチプレクシングと選択を行い、それぞれそれらの信号を MCU および ODSP に双方向ルーティングします。オン状態容量がわずか 1.3pF、伝搬遅延が 50ps なので、TMUX131 はより高いスルーレートとより短い遅延も含め、高精度の ePPS 信号伝送を保証します。

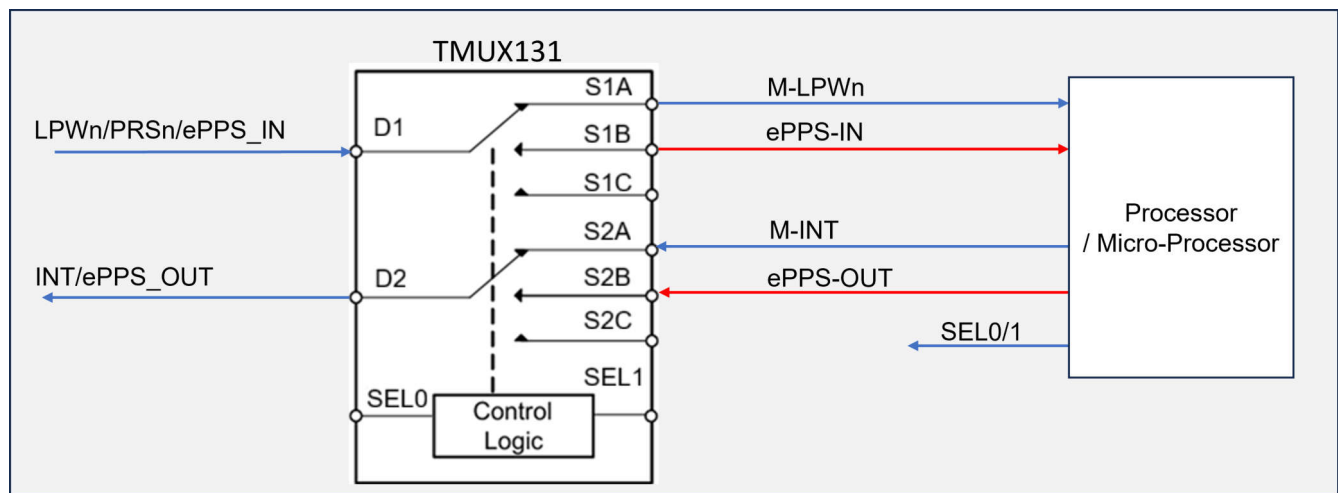


図 2-1. TMUX131 による PPS の実装

デザイン ノート

1. ePPS 信号伝送には、極めて高いタイミング精度と厳格な立ち上がり / 立ち下がり時間要件が必要です。信号パスにマルチプレクサを導入する場合、十分な高速エッジ遷移を確保し、システムレベルの ePPS アライメント精度を維持するため、デバイスの寄生容量に細心の注意を払う必要があります。
2. オフ絶縁は、高スルーレートによって望ましくない信号が選択されていないチャネルに発生する場合に、設計上のもう 1 つの考慮事項になります。
3. TMUX1511^[4] (4 チャネル、1:1) および TMUX136^[5] (2 チャネル、1:2) は、同等の性能パラメータを小型のフォームファクタで提供するため、さまざまなシステム設計要件に対して高い柔軟性を実現します。

2.2 マルチチャネル アナログ信号サンプリング — TMUX1108^[6]/TMUX1104

シリコン フォトニクス アーキテクチャの多様性、AFE 統合レベル、コストに関する検討事項により、市場にはさまざまな AFE ソリューションが存在します。AFE の内蔵 MUXIN 入力の数が必要なすべてのアナログ信号チャネルをカバーするのに十分な場合は、外部アナログ スイッチによって設計を補完できます。コスト効率の優れた 12 チャネル アナログ 入力 AFE と外部 8:1 拡張を組み合わせることで、合計アナログ サンプリング容量を最大 40 チャネルまで拡張できます。

使用事例 1: 1.6T (8 レーン) シリコン フォトニクス モジュールでは、8 個のシリコン フォトニクス モジュレータが合計 32 の MPD/RSSI 信号 (MPD 24 + RSSI 8) を生成します。TMUX1108/TMUX1104 を使用して AFE を支援することで、アナログ信号サンプリング システムは最大 40 の電流 / 電圧信号入力をサポートし、MCU/AFE プラットフォームのさまざまな組み合わせに適応する柔軟なアーキテクチャを実現できます。

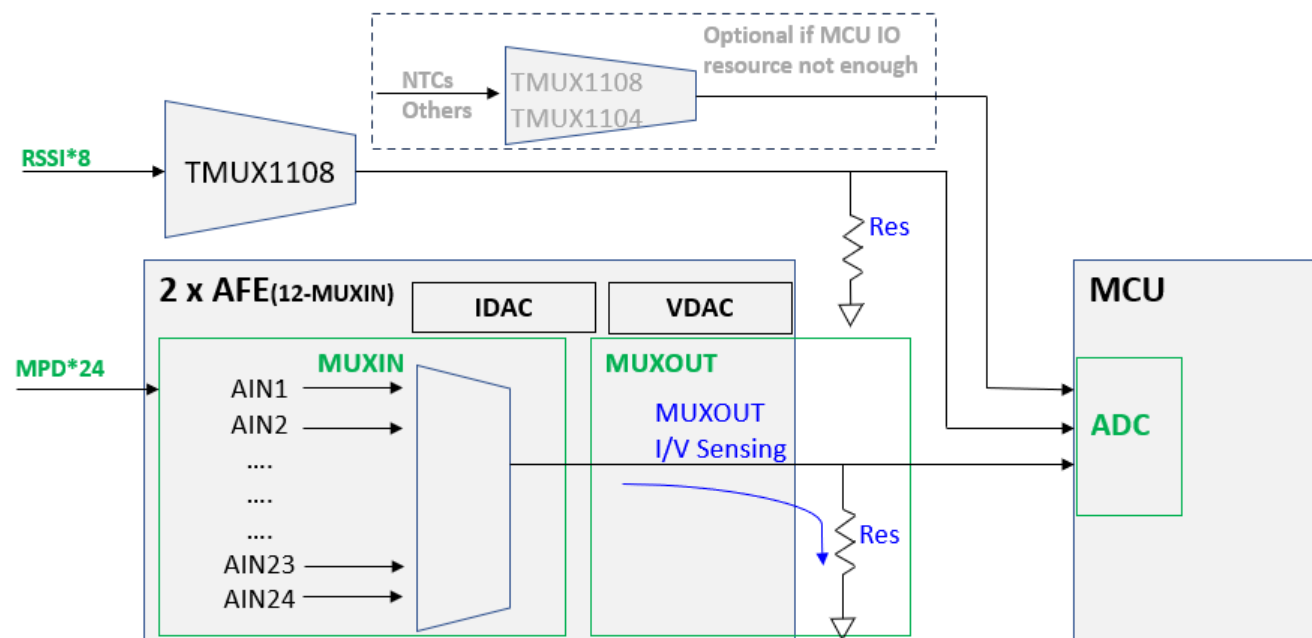


図 2-2. 信号サンプリング チェーンの図 1.6T (8 レーン) 光モジュール シリコン フォトニクス ベース

使用事例 2: 800G (4 レーン) シリコン フォトニクス モジュールでは、4 個のシリコン フォトニクス モジュレータが 16 の MPD/RSSI 信号 (MPD 12 + RSSI 4) を生成します。この場合、アナログ信号のサンプリングとチャネル選択範囲を完全に達成するには、単一の TMUX1104 と 12 チャネル AFE を組み合わせて使用すれば十分です。

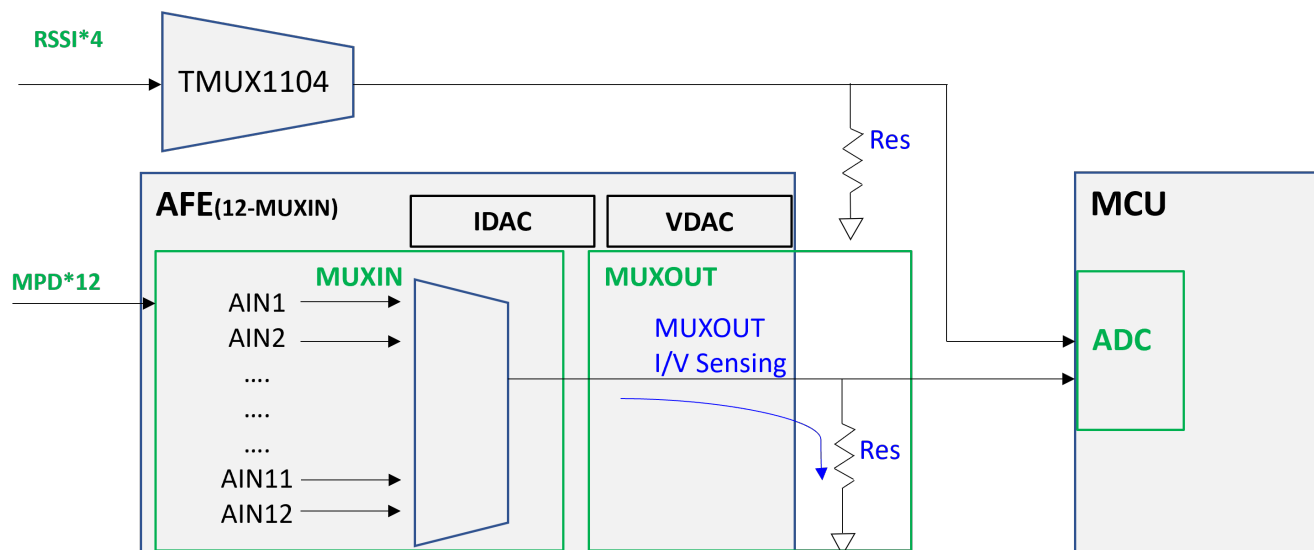


図 2-3. 信号サンプリング チェーンの図 800G (4 レーン) 光モジュール シリコン フォトニクス ベース

両方のシナリオに示されているように、外部アナログ マルチプレクサを使用してアナログ入力チャネルを拡張すると、より高集積の AFE またはマイコンを採用する場合に比べて、コスト効率とリソース使用率の点で非常に優れた利点があります。さらに、アナログ マルチプレクサを使用すると、800G、1.6T、さらに 3.2T の光モジュールを開発するときに、設計の柔軟性が向上します。

デザイン ノート: このアプリケーションでマルチプレクサにとって、リーク電流は重要な仕様です。スイッチされる MPD および RSSI 信号は弱い電流信号 (通常は $\mu\text{A} \sim \text{mA}$ の範囲) で、アナログ スイッチの主な選択基準はオンとオフの両方の状態でのリーク電流であり、信号のインテグリティには大きな影響を与えません。TMUX1108 を例として考えると、3pA のリーク電流は非常に優れた仕様であり、ほとんどの AFE の内部スイッチ リーク電流よりも大幅に優れています。このデバイスは小型で $2.6\text{mm} \times 1.8\text{mm}$ のパッケージに封止されており、AFE とは独立したスタンドアロン用途など、マルチチャネル、低電流のサンプリング アプリケーションに適しています。

2.3 XPO-TMUX1309A における I2C/SPI 1:4 バス拡張

XPO は、超高密度のプラグابل光モジュール フォーム ファクタであり、現在、合計帯域幅 12.8T をサポートし、32 レーンを経由してレーンあたり 1.6T で実装されています。従来型のプラグابل モジュールとは異なり、XPO は 4 つの DSP を管理および制御するために 1 つの MCU を必要とするので、MCU の IO リソースに対して大きな需要が生じます。図 3 に示す I2C バスを拡張する場合、TMUX1309A を使用して 2 チャンネルの 1:4 アナログ スイッチを実装することが非常に実用的なソリューションになります。高帯域幅により将来の I2C/I3C 高速要件に対応するほか、小型の QFN パッケージを採用しています。

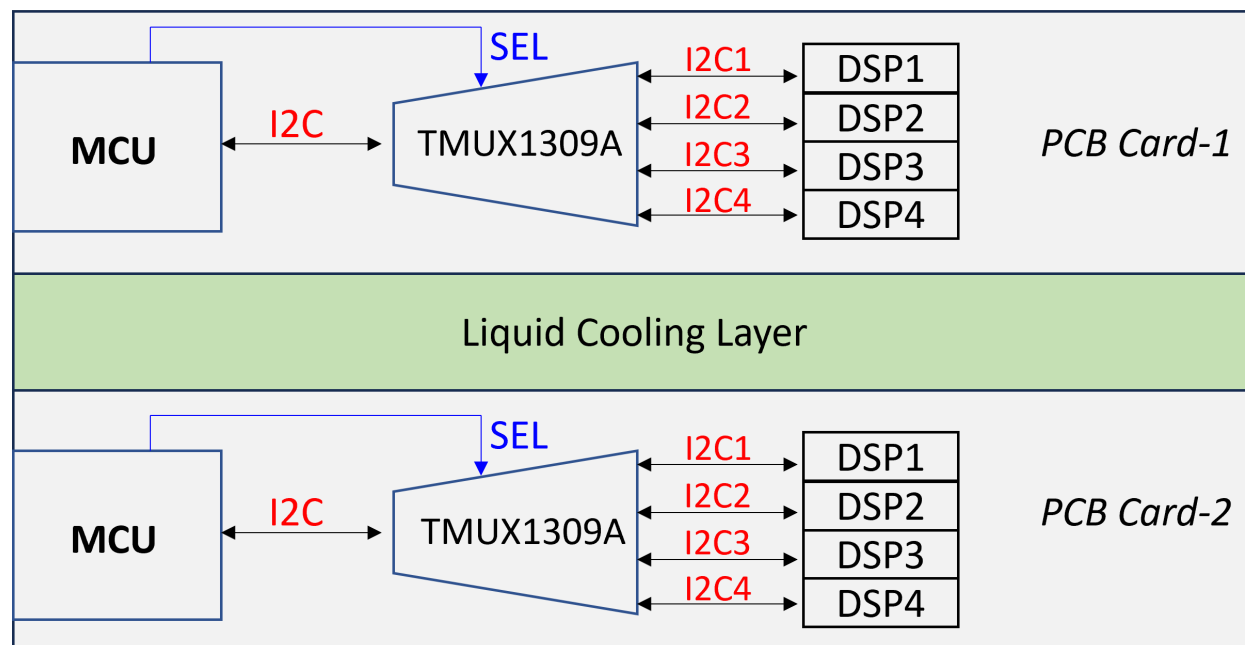


図 2-4. XPO の簡略化した I2C バス ブロック図

デザイン ノート:

1. このアプリケーションのソリューションを選択するときは、現在および将来のプロトコル速度との互換性を確保するために、必要なスイッチング モードとサポートされるデータ伝送帯域幅などが主な検討事項になります。
2. TI は代替ソリューションとして、最大 1MHz のデータ レートをサポートする専用 4 チャンネル I2C スイッチである TCA9846^[9] も提供しています。組込みプロトコルにより 1:4 の選択を実現します。
3. 1:4 SPI スイッチを実装する必要がある場合、2 つの TMUX1309A ユニットを使用するのが適切な選択肢です。

3 まとめ

光モジュールが 800G、1.6T、そして超高密度 XPO フォーム ファクタへと急速に進化している今日、内部信号チェーンの複雑さが増大し続けており、マイコン、ODSP、AFE のようなコア チップでの IO リソースの制約がますます重要になっています。TI のアナログ マルチプレクサは、優れた性能仕様と、包括的な製品ラインアップに支えられており、光モジュールの設計者は、フレキシブルでコスト効率に優れ、信頼性の高い信号チェーン拡張ソリューションを実現できます。

4 参考資料

1. XPO、<https://xpomsa.com/>、Web ページ。
2. テキサス インスツルメンツ、[TMUX131](#)、製品ページ。
3. OSFP-XD、<https://osfpmsa.org/>、Web ページ。
4. テキサス インスツルメンツ、[TMUX1511](#)、製品ページ。
5. テキサス インスツルメンツ、[TMUX136](#)、製品ページ。
6. テキサス インスツルメンツ、[TMUX1108](#)、製品ページ。
7. テキサス インスツルメンツ、[TMUX1104](#)、製品ページ。
8. テキサス インスツルメンツ、[TMUX1309A](#)、製品ページ。
9. テキサス インスツルメンツ、[TCA9846](#)、製品ページ。
10. テキサス インスツルメンツ、[アナログ スイッチとマルチプレクサ | TI.com](#)、製品ページ。

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みいかなる保証も、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、TI は一切の責任を拒否します。

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](https://www.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