

Application Note

光学模块中的模拟多路复用器应用



Rocky Chen

摘要

随着数据中心对 AI 计算的需求持续激增，光学模块正快速从 800G 和 1.6T 向 CPO (共封装光学) 和 XPO^[1] (超高密度可插拔光学) 等超高密度外形发展，并快速获得采用。随着系统集成规模不断扩大，MCU、ODSP 和 AFE 等核心芯片的 IO 资源限制正成为日益突出的瓶颈，使外部模拟开关成为信号链设计中不可或缺的补充。

基于 TI 模拟多路复用器产品组合的特点，并结合实际光学模块设计需求，本应用手册介绍了四种典型应用场景：ePPS 时序同步、硅光子系统中的多通道信号门控和采样、XPO 平台中的总线扩展以及热插拔可靠性增强 — 为 800G/1.6T 和下一代光学模块开发提供实用的设计参考。

内容

1 简介.....2

2 光学模块中的典型用户案例.....3

 2.1 ePPS 信号多路复用 — TMUX131.....3

 2.2 多通道模拟信号采样 — TMUX1108^[6] / TMUX1104.....4

 2.3 XPO 中的 I2C/SPI 1:4 总线扩展 — TMUX1309A.....6

3 总结.....7

4 参考资料.....7

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 简介

在典型的光学模块系统中，需要连接、处理和控制多个信号。

- 模拟电流检测：MPD、RSSI
- 模拟电压检测：NTC
- 总线协议：I2C、I3C、SPI
- MSA 协议：INT/RST、LPW/PRS/ePPS

随着光学通信技术的快速发展和需求不断增长，MCU/DSP/AFE 的 IO 资源可能无法满足信号处理需求。这为采用紧凑外形实现新标准带来了集成方面的挑战。

TI 的多路复用器和开关产品系列涵盖业界最全面的模拟开关产品组合之一，可帮助提供解决方案，以应对快速发展的光学网络领域所面临的挑战。

2 光学模块中的典型用户案例

2.1 ePPS 信号多路复用 — TMUX131

现代数据中心交换机和电信系统依靠 IEEE 1588 PTP 实现纳秒级时间同步。来自交换机主机的 PPS 信号被馈入光学模块，以使模块的时间域与系统级 PTP 时钟对齐。这可确保所有模块保持时间对齐，这对于并行光学通道之间的相干波束成形、相位匹配和数据完整性至关重要。采用 ePPS 功能标志着 OSFP-XD^[3] 的重大演进 — 从简单的数据收发器转变为能够参与精确同步网络架构的具备时序感知能力的智能光学模块。

根据协议规范，ePPS 信号通过多路复用方式传输至 OSFP LPWn/PRSn 引脚。如图 2 所示，TMUX131 (2 通道、1:3) 用于对主机发送至模块的 LPW 和 ePPS 信号进行多路复用和选择，并分别将这些信号双向路由至 MCU 和 ODSP。TMUX131 的导通状态电容仅为 1.3pF，传播延迟为 50ps，可确保 ePPS 信号实现高精度传输，包括更高的转换率和更低的延迟。

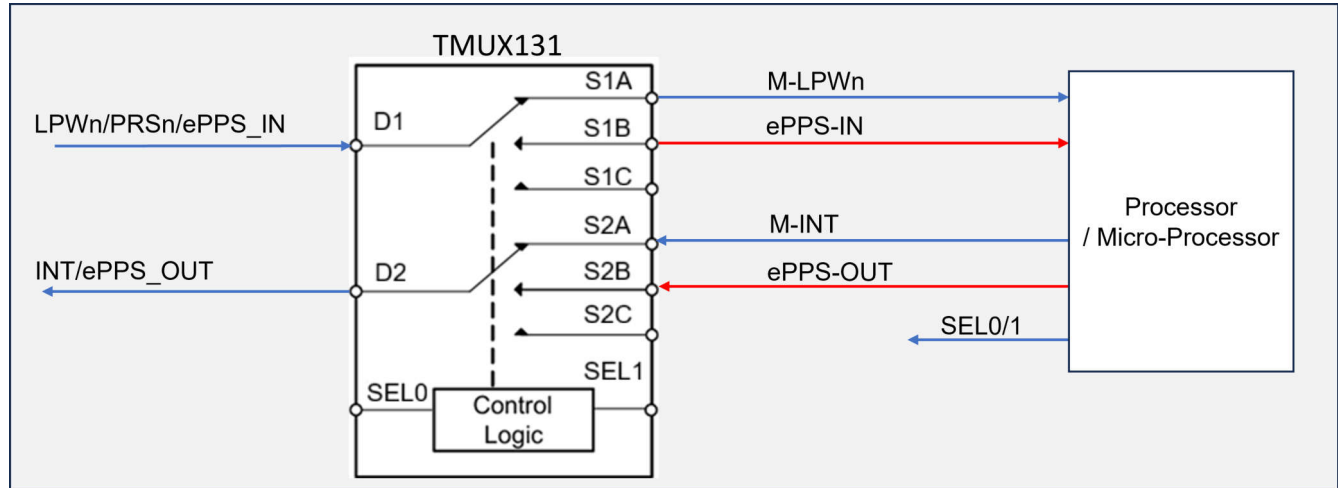


图 2-1. 通过 TMUX131 实现 PPS

设计注意事项

1. ePPS 信号传输要求具备极高的时序精度以及严格的上升/下降时间要求。在将多路复用器引入信号路径时，必须特别关注器件的寄生电容，以确保实现足够快的边沿转换，并保持系统级 ePPS 对齐精度。
2. 关断隔离也是另一个需要考虑的设计因素，以防止高压摆率在非选定通道引入不需要的信号。
3. TMUX1511^[4] (4 通道、1:1) 和 TMUX136^[5] (2 通道、1:2) 在小型封装下提供了相当的性能参数，可为不同的系统设计需求提供更高的灵活性。

2.2 多通道模拟信号采样 — TMUX1108^[6] / TMUX1104

鉴于硅光子架构、AFE 集成级别以及成本考量的多样性，市场上存在各种各样的 AFE 解决方案。当 AFE 内置的 MUXIN 输入数量不足以覆盖所有所需模拟信号通道时，外部模拟开关可用于补充设计。通过将具有成本效益的 12 通道模拟输入 AFE 与外部 8:1 扩展相结合，总模拟采样能力可扩展至最多 40 个通道。

用例 1：在 1.6T (8 通道) 硅光子模块中，8 个硅光子调制器总共生成 32 个 MPD/RSSI 信号 (24 个 MPD + 8 个 RSSI)。使用 TMUX1108/TMUX1104 辅助 AFE，模拟信号采样系统可支持多达 40 个电流/电压信号输入，从而提供可适配各种 MCU/AFE 平台组合的灵活架构。

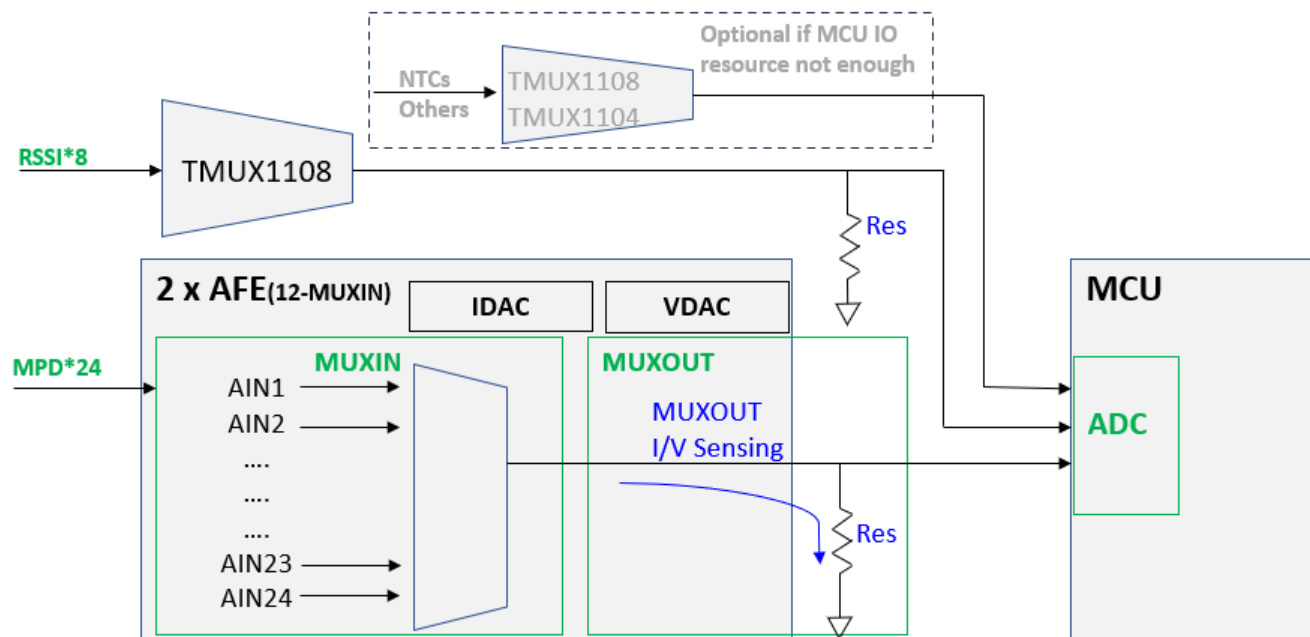


图 2-2. 基于 Sipho 的 1.6T (8 通道) 光学模块信号采样链路图

用例 2：在 800G (4 通道) 硅光子模块中，4 个硅光子调制器生成 16 个 MPD/RSSI 信号 (12 个 MPD + 4 个 RSSI)。在这种情况下，单个 TMUX1104 搭配 12 通道 AFE 即可实现完整的模拟信号采样和通道选择覆盖。

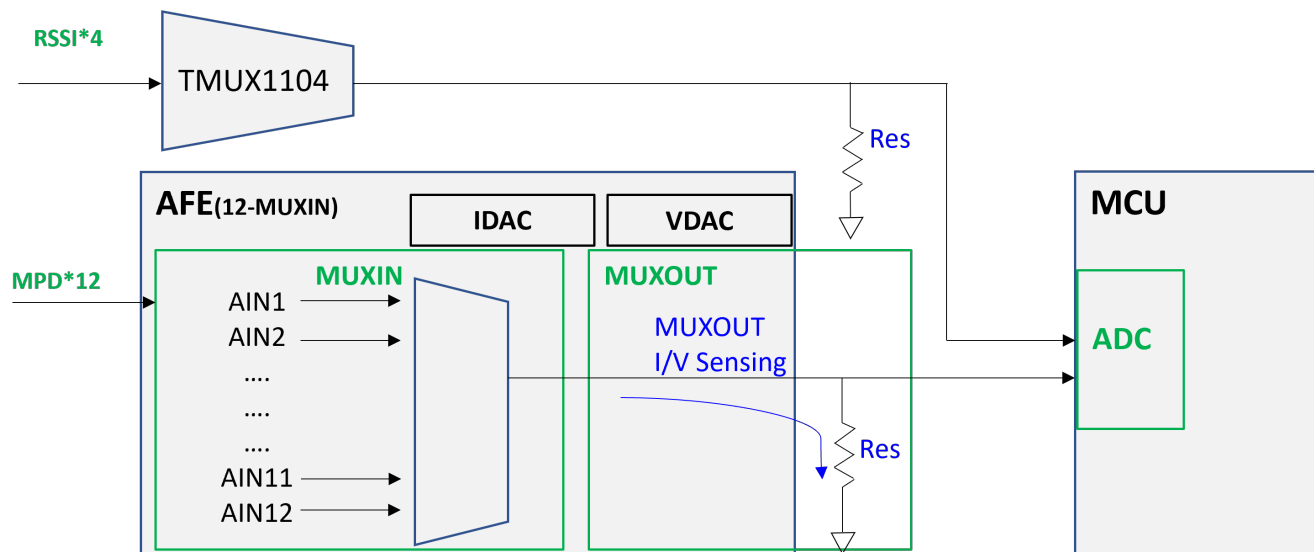


图 2-3. 基于 Sipho 的 800G (4 通道) 光学模块信号采样链路图

如这两个场景所示，与采用更高集成度的 AFE 或 MCU 相比，使用外部模拟多路复用器扩展模拟输入通道在成本效益和资源利用率方面具有显著优势。此外，在开发 800G、1.6T 甚至 3.2T 光学模块时，模拟多路复用器可提供更高的设计灵活性。

设计注意事项：泄漏电流是此类应用中多路复用器的一项关键规格。需要切换的 MPD 和 RSSI 信号属于微弱电流信号（通常处于 μA 至 mA 范围内），因此模拟开关的主要选择标准是其导通和关断状态下的泄漏电流，以确保不会对信号完整性产生显著影响。以 TMUX1108 为例，其 3pA 泄漏电流代表了出色的性能规格——明显优于大多数 AFE 的内部开关泄漏电流。其紧凑的 $2.6\text{mm} \times 1.8\text{mm}$ 封装使其非常适用于多通道低电流采样应用，包括独立于 AFE 的单独使用场景。

2.3 XPO 中的 I2C/SPI 1:4 总线扩展 — TMUX1309A

XPO 是一种超高密度可插拔光学模块外形，目前支持 12.8T 聚合带宽，通过 32 个通道实现，每个通道速率为 1.6T。与传统可插拔模块不同，XPO 需要单个 MCU 管理和控制 4 个 DSP，这对 MCU IO 资源提出了较高要求。对于 I2C 总线扩展，如图 3 所示，使用 TMUX1309A 实现 2 通道 1:4 模拟开关是一种非常实用的解决方案。其高带宽可满足未来 I2C/I3C 高速要求，并采用紧凑型 QFN 封装。

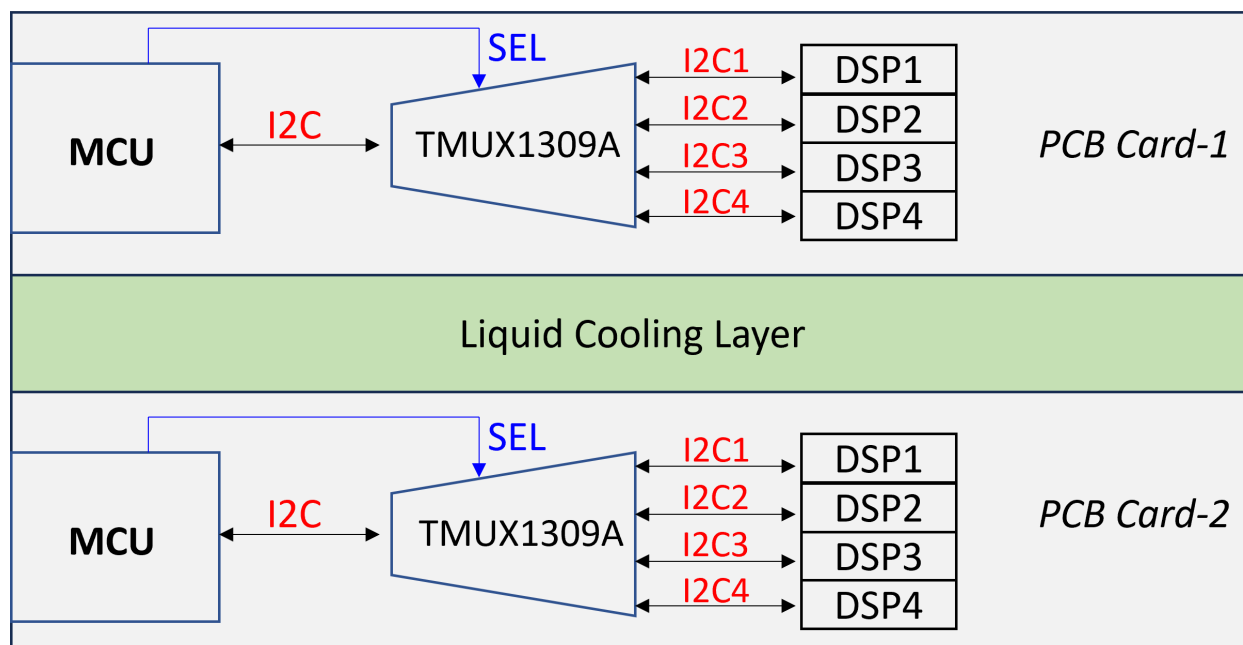


图 2-4. XPO 中的简化 I2C 总线方框图

设计注意事项：

1. 为此应用选择解决方案时，主要考虑因素包括所需的切换模式以及支持的数据传输带宽，以确保与当前和未来协议速率兼容。
2. TI 还提供 TCA9846^[9]，这是一款专用的 4 通道 I2C 开关，支持高达 1MHz 的数据速率，可作为替代解决方案。通过嵌入式协议实现 1:4 选择功能。
3. 如果需要实现 1:4 SPI 开关功能，则使用两个 TMUX1309A 器件是一种较好的选择。

3 总结

随着光学模块快速向 800G、1.6T 以及超高密度 XPO 外形发展，内部信号链的复杂性持续增加，并且 MCU、ODSP 和 AFE 等核心芯片上的 IO 资源限制正变得越来越关键。TI 的模拟多路复用器凭借出色的性能规格和全面的产品组合，为光学模块设计人员提供灵活、经济高效且高度可靠的信号链扩展解决方案。

4 参考资料

1. XPO，<https://xpomsa.com/>，网页。
2. 德州仪器 (TI)，[TMUX131](#)，产品页面。
3. OSFP-XD <https://osfpmsa.org/>，网页。
4. 德州仪器 (TI)，[TMUX1511](#)，产品页面。
5. 德州仪器 (TI)，[TMUX136](#)，产品页面。
6. 德州仪器 (TI)，[TMUX1108](#)，产品页面。
7. 德州仪器 (TI)，[TMUX1104](#)，产品页面。
8. 德州仪器 (TI)，[TMUX1309A](#)，产品页面。
9. 德州仪器 (TI)，[TCA9846](#)，产品页面。
10. 德州仪器 (TI)，[模拟开关和多路复用器 | TI.com](#)，产品页面。

重要通知和免责声明

TI“按原样”提供技术和可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证没有瑕疵且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、与某特定用途的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品，(2) 设计、验证并测试您的应用，(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他安全、安保法规或其他要求。

这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的相关应用。严禁以其他方式对这些资源进行复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。对于因您对这些资源的使用而对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，您将全额赔偿，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 销售条款](#)、[TI 通用质量指南](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款或 TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。除非德州仪器 (TI) 明确将某产品指定为定制产品或客户特定产品，否则其产品均为按确定价格收入目录的标准通用器件。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

版权所有 © 2026，德州仪器 (TI) 公司

最后更新日期：2025 年 10 月