

光学飞行时间 (ToF) 激光雷达 (光探测和测距) 系统广泛用于各种产品, 包括测距仪、速度测量设备、勘测设备、机器人、无人机、3D 测绘和汽车高级驾驶辅助系统 (ADAS)。光学 ToF 系统由一个光发射器 (通常采用激光器) 和一个光接收器组成。系统测距原理是先向物体发射光脉冲, 然后接收来自该物体的反射光脉冲, 根据光脉冲到该物体的往返时间, 可计算出发射器、接收器和物体之间的距离。图 1 为光学 ToF 系统的简图。

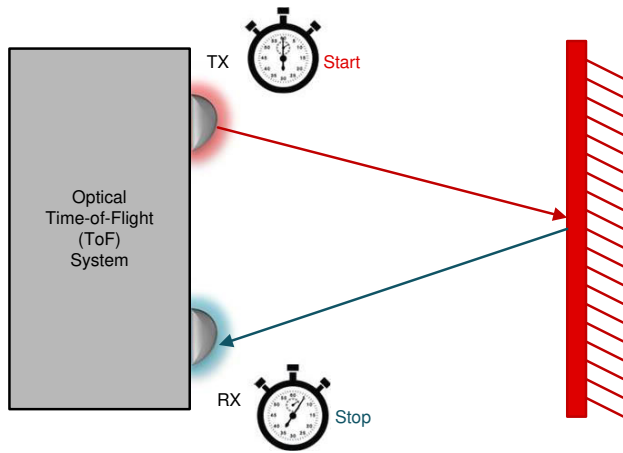


图 1. 光学飞行时间系统简图

光学 ToF 系统的接收路径主要有两种架构：一种是基于时间数字转换器 (TDC) 的系统，另一种是基于模数转换器 (ADC) 的系统，这两种架构均可用于实现光学 ToF 系统，但各自具有不同的优缺点。

基于 TDC 的系统可利用 TDC (如 TI 的 [TDC7201](#) 器件) 提供非常精确的秒表功能，用于测量启动脉冲和停止脉冲之间的经过时间。图 2 所示为该系统的方框图。

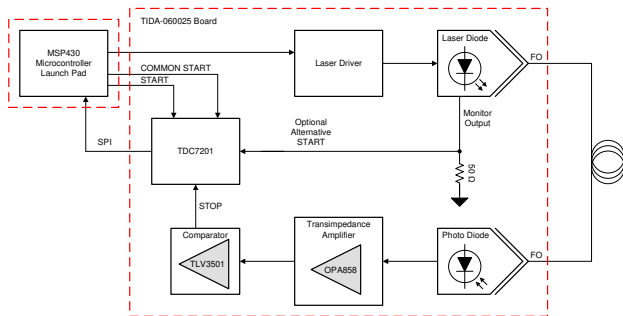


图 2. 基于 TDC 的光学 ToF 系统简图

将低功耗微控制器 (如 TI 的 [MSP430F5529](#)) 与 TDC7201 器件搭配使用, 可发射激光脉冲, 并处理从 TDC 收集的 ToF 信息。接收路径还需要使用一个跨阻放大器 (TIA), 如 TI 的 [OPA858 5.5GHz](#) 运算放大器, 对光电二极管发出的信号进行电流-电压转换。

OPA858 器件具有低偏置电流 CMOS 输入和 $2.5\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ 的低噪声, 因此非常适合在该应用中用作跨阻放大器 (TIA)。根据系统所用光电二极管的电容, OPA858 可提供超过 250MHz 的闭环带宽和 $10\text{k}\Omega$ 的增益。TIA 还可采用非常小的 $2\text{mm} \times 2\text{mm}$ 8 引脚封装, 适用于空间受限型或多通道设计, 有助于最大限度地减小所需的布板空间。OPA855 器件是一款 8GHz 双极输入放大器, 也可用作 TIA, 并采用与 OPA858 器件引脚对引脚兼容的封装。集成度更高的 TIA (例如 [LMH34400](#)) 可使具有环境光消除功能的基于 TDC 的系统更具有优势。

该系统的接收路径也使用比较器 (如 TI 的 [TLV3501](#) 或 [TLV3801](#) 器件) 来接收 TIA 的输出, 并驱动 TDC 的 STOP 输入。TLV3501 具有仅 1.5ns 的快速上升时间和仅 4.5ns 的短时延迟, 因此非常适合作此电路的接收路径。

当需要低成本、低功耗且只需进行简单的距离测量时, 推荐采用这种基于 TDC 的架构。有关基于 TDC 的架构的更多信息, 请参阅 [TIDA-060025](#) 参考设计以及 [飞行时间和激光雷达 - 光学前端参考设计](#) 视频。

基于 ADC 的 ToF 激光雷达系统采用高速模数转换器 (如 TI 的 [ADC34J45 14 位 160MSPS](#) ADC), 将反射波形转换为可进行处理和分析的数字信号, 然后使用数字信号处理器 (DSP) 或现场可编程门阵列 (FPGA) 处理通过 ADC 接收的波形信息。这些基于 ADC 的系统通常可确定物体的距离和其他属性, 如反射率。图 3 所示为基于 ADC 的光学 ToF 系统方框图。

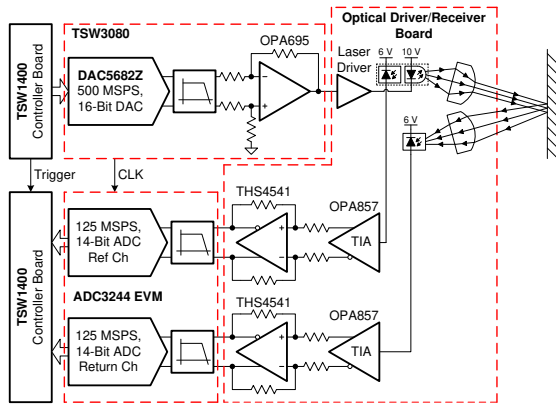


图 3. 基于 ADC 的光学 ToF 系统简图

基于 ADC 系统的接收路径也需要一个 TIA，用于将光电二极管的电流输出转换为电压。该系统使用了 TI 集成了可选增益选项的 OPA857 TIA。该 OPA857 器件具有 $5k\Omega$ 或 $20k\Omega$ 的跨阻增益选项可选，可实现灵活的系统设计；也可采用 $3mm \times 3mm$ 、8 引脚封装和裸片形式 (OPA857-DIE)，从而在光电二极管和 TIA 之间实现直接的引线键合。使用 OPA857-DIE 实现直接的引线键合，可显著降低光电二极管与 TIA 之间的寄生电容和电感。裸片选项还可缩小设计尺寸，使光电二极管和 TIA 之间的连接更高效。

基于 ADC 的系统还使用 THS4541 全差分放大器 (FDA) 来驱动 ADC34J45 高速 ADC 的差分输入端。完成信息数字化后，会由 TSW1400 控制器板上的 FPGA 进行处理和分析。然后，系统会确定物体的距离信息，并显示在基于 PC 的应用上。有关基于 ADC 的架构的更多信息，请参阅 TIDA-01187 参考设计以及 [激光雷达脉冲飞行时间参考设计概述 \(TIDA-01187\)](#) 视频。

德州仪器 (TI) 还提供先进的单通道 LMH32401 和四通 LMH32404 器件，这些器件集成了多种适合光学 ToF 接收电路的特性。图 4 所示为 LMH32401 方框图。

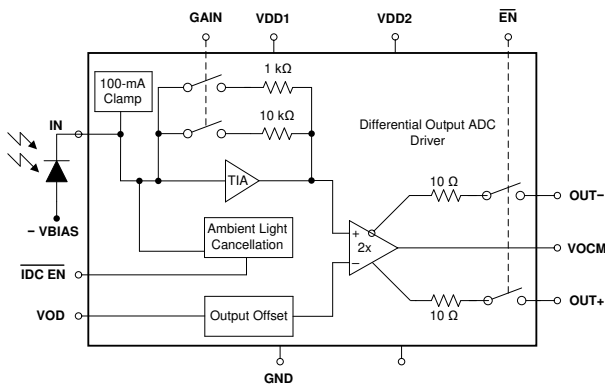


图 4. LMH32401 简化方框图

LMH32401 器件是一款增益可编程的单端输入至差分输出跨阻放大器，可配置 $2k\Omega$ 或 $20k\Omega$ 的跨阻增益，并采用集成式单端输入至差分输出的放大器，可提供最

大 1.5VPP 的输出摆幅，因此适用于驱动高速 ADC。LMH32401 还具有集成的 100mA 电流钳位，不仅可提供保护，还能使放大器在光学测距系统内迅速从过载输入条件下恢复正常。此外，放大器还具有集成的环境光消除电路，其差分输出失调电压 (VOD) 输出引脚可用于设置其 OUT+ 和 OUT- 引脚之间的差分输出，这一点非常实用，因为它能最大限度提高光学前端 ADC (例如 1.6GSPS ADC12QJ1600) 的动态范围。VOD 引脚电压可将 OUT- 信号电平转换至输出共模电压 (VOCM) 以上，将 OUT+ 信号电平转换至 VOCM 以下，从而最大限度地提高放大器的输出摆幅能力。有关模拟前端动态范围优化的更多信息，请参阅 [《模拟设计期刊》](#)。

光学 ToF 激光雷达系统广泛用于各种产品，可使用 TDC 或 ADC 架构实现接收路径。TI 提供的多种 IC (包括 TIA、FDA、TDC 和 ADC) 均可用于上述系统。有关光学系统的更多信息，请参阅 [《汽车激光雷达简介》白皮书](#)。

重要声明和免责声明

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、某特定用途方面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功能安全、信息安全、监管或其他要求。

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 产品的应用。严禁对这些资源进行其他复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。您应全额赔偿因在这些资源的使用中对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 的销售条款](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款/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。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

邮寄地址：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265

Copyright © 2022，德州仪器 (TI) 公司