

说明

此设计展示的高速光学前端通过采用光纤传输介质的 ToF 距离测量电路实现，该电路适用于任何类型的 ToF 测量，例如在自由空间中进行测量。此设计采用行业出色的 2.5V 输出线性跨阻前端，具有 10kΩ 增益和超过 200MHz 的带宽，可实现高精度测量。在 *短时间* 模式下的 TDC7201 转换器将接收到的信号进行数字化转换，将设备的测量精度从 12ns 提高到 250ps，由此强化了设备的高精度特点。测量由 LaunchPad™ 开发套件中的 MSP430 微控制器控制，便于轻松实现即插即用兼容性。总体来说，与需要高速 ADC 以及 FPGA 的全数字化设计相比，该设计不仅专注于高速与精度，还降低了复杂性和能耗。

资源

TIDA-060025	设计文件夹
OPA858	产品文件夹
TDC7201	产品文件夹
TLV3501 或 TLV3601/3	产品文件夹
MSP-EXP430F5529LP	工具文件夹

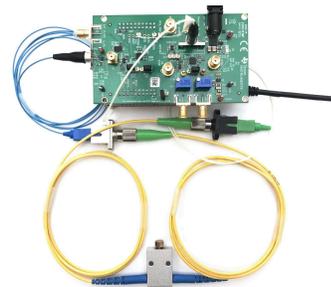
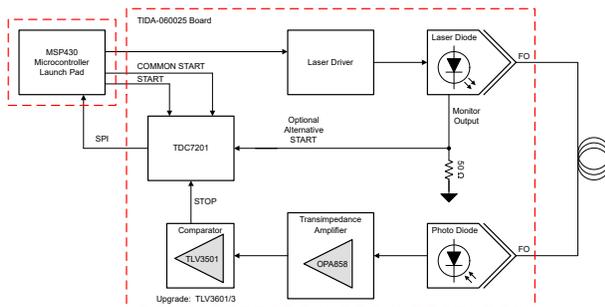


特性

- 具备所展示的飞行时间测量的光学前端设计
- 带宽大于 200MHz、增益为 10kΩ 的高速放大器信号路径
- 测量数值精确到厘米
- 高速时间数字转换器
- 产生 Tx 信号的超快激光二极管驱动器和激光二极管
- 具备板载电压电源的 PIN 光电二极管前端
- 用于
电流到电压转换的高速跨阻放大器 (TIA)
- 低计算成本与能耗要求

应用

- 激光测距
- 激光雷达
- 3D 扫描
- 机器视觉
- 扫地机器人
- 无人机视觉
- 光学放大器
- CAT 扫描仪前端
- 光电二极管监控
- 导弹制导



1 系统说明

此参考设计展示了德州仪器 (TI) 高速放大器、比较器和时数转换器 (TDC) 的功能，以提供高精度、低功耗飞行时间 (ToF) 测量系统。接收路径包含一个 PIN 光电二极管接收器，该接收器通过 5V 基准电压进行偏置，并耦合到使用跨阻配置且具有 $10\text{k}\Omega$ 增益的 OPA858 放大器。OPA858 放大器是一个 5.5GHz 解补偿运算放大器，具有低偏置电流互补金属氧化物半导体 (CMOS) 输入。此设计默认使用 OPA858 5.5GHz 放大器，但可轻松配置为使用 OPA855 8GHz、双极输入放大器或 OPA859 900MHz、CMOS 输入、单位增益稳定放大器。OPA858 输出连接到 TLV3501 4.5ns 比较器，以放大和传播信号到下一级。

使用 TDC7201 时数转换器在短时间测量模式下测量接收信号。TDC7201 在内部计算启动脉冲和停止脉冲之间的时间差，从而确定飞行时间测量。在此设计中，启动信号由微控制器或封装在激光二极管的内置监视器二极管提供，停止信号是从 TLV3501 接收的信号。默认情况下，TDC7201 测量时间下限为 12ns，限制测量距离下限为 3.6 米。但是，在短时间模式下，器件允许两个测量核心协同工作，将测量时间下限降低到 250ps，进而将真空中的测量距离下限降低到 7.5 厘米。TDC7201 数字输出连接到 MSP430 微控制器，该微控制器计算实际测量距离，并将信息发送到计算机图形用户界面 (GUI)。

此设计的发送路径同时受 MSP430 控制，它可以命令激光驱动器触发，同时根据计算机 GUI 的输入启动 TDC7201 测量。激光驱动器连接到具有板载监控光电二极管的激光二极管。当激光二极管开始传输时，板载光电二极管会输出电流信号，同时电阻器将该电流信号转换为简单电压信号。此外，TDC7201 测量启动可由具有板载光电二极管的激光二极管而不是 MSP430 触发，从而提供具有较低延迟的连接。在此设计中，电信号通过光纤传输，便于测量和设置。此设计可修改为使用整流二极管和透镜代替光纤进行空中测量。

1.1 关键系统规格

表 1-1 列出了适用于此参考设计的关键规格。

表 1-1. 关键系统规格

参数	技术规格	详细信息
电源电压	5V 外部电源	请参阅 节 2.2.4
模拟带宽	增益为 $10\text{k}\Omega$ 时 $> 200\text{MHz}$	请参阅 节 2.4.1.1
上升和下降时间	$< 1.5\text{ns}$	请参阅 表 3-1
平均精度	$< 1\text{cm}$	请参阅 节 3.2.2.1.2
标准差	$< 7\text{cm}$	请参阅 节 3.2.2.1.2
最大放大器输出信号摆幅	2.5 V _{pp}	请参阅 节 3.2.2.1.1.4

2 系统概述

2.1 方框图

图 2-1 显示了评估设计和子块的详细方框图。图 2-1 包含 MSP-EXP430F5529LP EVM 和参考设计板。

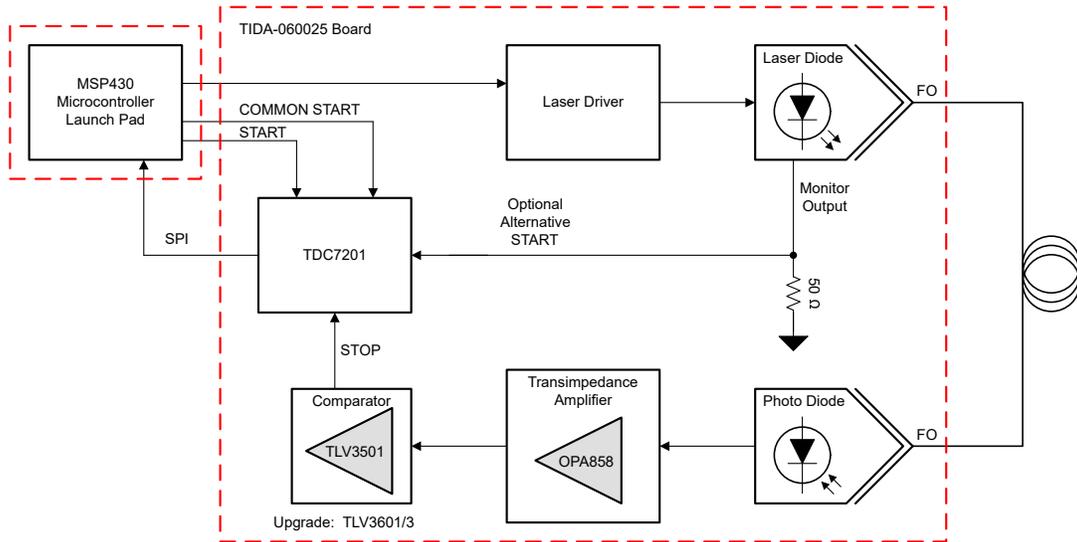


图 2-1. TIDA-060025 方框图

2.2 设计注意事项

2.2.1 放大器和比较器

此设计的主要目标是实现超过 200MHz 的前端线性跨阻带宽，同时保持光学系统中常见的 10kΩ 增益。为了满足这些要求，选择了 OPA858 运算放大器。该放大器特点为 5.5GHz 增益带宽积、低偏置电流 CMOS 输入及 2.5nV/√Hz 低噪声。由于此设计中使用了光电二极管和反馈电容，放大器可实现具有 10kΩ 增益、超过 250MHz 的闭环带宽，超出了 200MHz 的初始目标。有关设计原理的更多信息，请参阅节 2.4。

为了驱动 OPA858 之后 TDC7201 阶段的数字输入，选择了 TI TLV3501 高速比较器来提供经调节的信号。TLV3501 采用推挽输出设计，上升和下降时间为 1.5ns，延迟为 4.5ns。可使用更快的比较器，但这些器件通常具有低压差分信令 (LVDS) 或其他差分输出，可能需要额外转换器和延迟来驱动 TDC7201 输入。此外，整个系统采用校准设计，消除了距离测量造成的延迟误差。

2.2.2 数字处理和控制

为了实现简单、低成本、低功耗设计，选择了 TDC7201 时数转换器而不是高速 ADC 来测量延时时间。TDC7201 配置为短时间测量模式，使用了器件的两个内核，使测量精度达到 0.25ns。该配置可实现真空中系统测量精度约 7.5cm，或单模光纤 (折射率 1.444) 精度 5cm。由于驱动 TDC7201 的模拟前端带宽较高，整个测量在考虑所有误差来源后可实现精度小于 10cm。有关 TDC7201 短时间测量模式的更多信息，请参阅[使用 TDC7201 进行短时间测量应用报告](#)。

为了控制所有组件并处理来自 TDC7201 的数字信息，此设计使用了德州仪器 (TI) MSP430 MSP430FF5529 微控制器 LaunchPad™。MSP430FF5529 是 TI 低功耗系列微处理器之一，LaunchPad™ 接口支持轻松即插即用设计，可使用通用串行总线 (USB) 电缆直接连接到计算机 GUI。该微控制器负责命令触发激光二极管设置时间，并处理来自 TDC7201 的信息。

2.2.3 光学器件

2.2.3.1 激光驱动器和激光二极管

此设计中使用的激光驱动器是一个 iC-Haus™ iC-HB、3 通道 155MHz 激光开关。有关此设计的推荐激光驱动器，请参阅 [3 通道 155MHz 激光开关数据表](#)。推荐激光二极管是 OEQuest™ 1550nm 分布式反馈激光器 (DFB) [LDM5S515-015](#)。在脉冲高速应用中，开启和关闭激光会导致次优性能。请勿关闭激光，而是在激光处于非活动状态时，将其配置为正好小于开启阈值，从而确保开启更顺畅、更快速。此配置更大限度地降低了寄生电容的影响。寄生电容在瞬态运行期间需要充放电。

[图 2-2](#) 展示了激光设置的简化原理图。有关完整的印刷电路板 (PCB) 原理图，请参阅 [图 4-2](#)。将激光二极管驱动器的每个通道视为具有启用/禁用开关的电压控制电流源 (VCCS)。三个并行通道说明如下：

- 偏置通道设置激光阈值条件
- 通道 1 驱动开启或关闭激光的信号电流
- 在此应用中并未使用通道 2

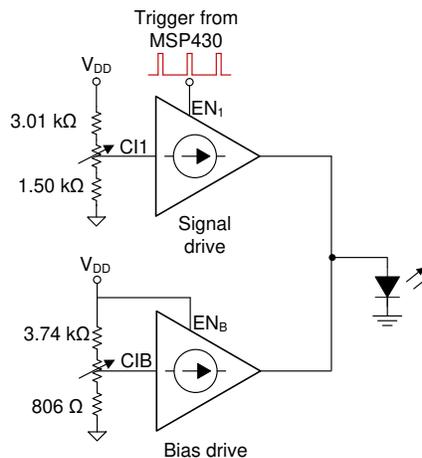


图 2-2. 激光二极管方框图

使用在 5V 电源和接地之间连接的板载电阻分压器和电位器子电路，可将偏置电压设置为控制 VCCS。设置偏置电源为 1.15V，通道 1 信号电源为 1.65V。跳线以静态方式控制偏置通道的状态，MPS430 生成的触发器控制信号通道。可调线性稳压器 (U3) 配置为驱动 3p3V 线路上的 3.3V 输出电压。该电压驱动 [SN74LVC1T45](#) 逻辑电平转换器的初级侧，将 MSP430 触发信号的 0V 至 3.3V 逻辑电平转换为驱动 iC-HB 器件所需的 0V 至 5V 数字信号。如需了解更多信息，请参阅 [图 2-1](#)。

2.2.3.2 光电二极管

使用了高速、低电压、具有 5V 偏置电压的铟镓砷化物 (InGaAs) 光电二极管 (例如 [CEL™ NR-7500](#)) 来评估系统。

2.2.4 电源

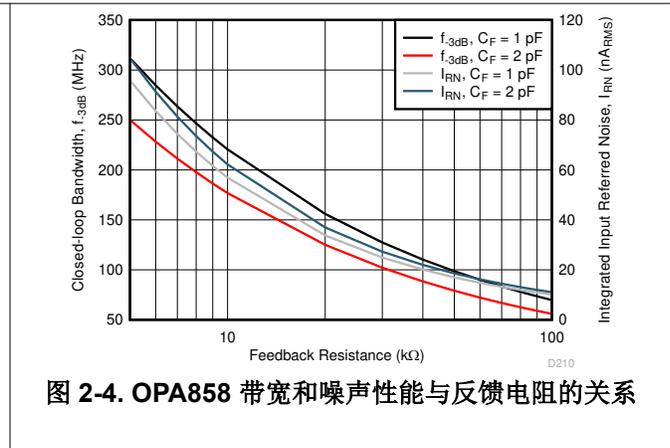
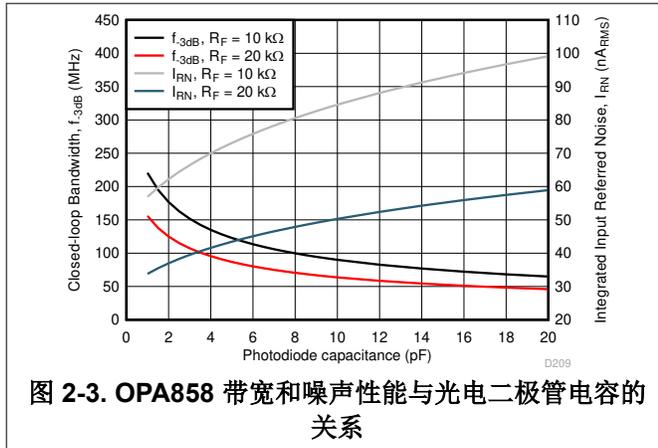
整个设计由 5V 壁式可插拔电源和 5V 电脑 USB 连接供电。默认情况下，此设计使用 USB 电源为 MSP430 LaunchPad™ 和 TDC7201 供电。但是，电路板可选择使用 5V 壁式电源为所有器件供电。

2.3 重点产品

2.3.1 OPA858 运算放大器

OPA858 是一款具有 CMOS 输入的宽带低噪声运算放大器，适用于宽带跨阻和电压放大器应用。当将该器件配置为跨阻放大器 (TIA) 时，5.5GHz 增益带宽积 (GBP) 可为需要在数十至数百千欧范围内的跨阻增益下实现高闭环带宽的应用提供支持。

图 2-3 和图 2-4 展示了当将 OPA858 配置为 TIA 时，该放大器的带宽和噪声性能与光电二极管电容的函数关系。计算总噪声时所依据的带宽范围为：从直流到左轴上计算得出的 f_{-3dB} 频率。OPA858 封装具有反馈引脚 (FB)，可简化输入和输出之间的反馈网络连接。



2.3.2 TLV3501 和 TLV3601/3 高速比较器

TLV360x 和 TLV350x 系列推挽输出比较器分别具有 2.5ns 和 4.5ns 的超短传播延迟，并能在 2.4V 到 5.5V 的电压范围内工作。这两款比较器还具有轨到轨输入共模范围，因此非常适合低压应用。单端推挽输出直接驱动 CMOS 或晶体管-晶体管逻辑 (TTL)。同样，TLV3603 具有可调节迟滞功能，可配置为抑制系统噪声。

微型封装可以使其满足便携式和空间受限的应用。

图 2-5 展示了 TLV3501 和 TLV3601 的方框图。

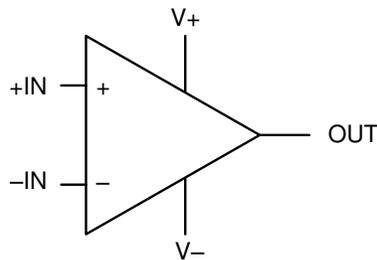


图 2-5. TLV3501/3601 方框图

2.3.3 TDC7201 时数转换器

TDC7201 设计为与采用飞行时间 (ToF) 技术的超声波、激光和雷达测距设备搭配使用。TDC7201 内置有两个时数转换器 (TDC)，可用于测量 4 厘米到数千米范围内的距离，而且架构非常简单，无需使用昂贵的现场可编程门阵列 (FPGA) 或处理器。

每个 TDC 均可执行秒表功能，测量 START 脉冲与多达 5 个 STOP 脉冲之间的时间间隔 (飞行时间，即 ToF)。利用这两个内置 TDC，可以同时且单独测量两对 START 和 STOP 引脚，从而提高时间测量设计的灵活性。

该器件内置自校准时基，可对时间和温度偏差进行补偿。这一自校准功能使得时间数字转换器能够获得皮秒级精度。这一精度使得 TDC7201 非常适合测距应用。图 2-6 展示了 TDC7201 激光雷达方框图。

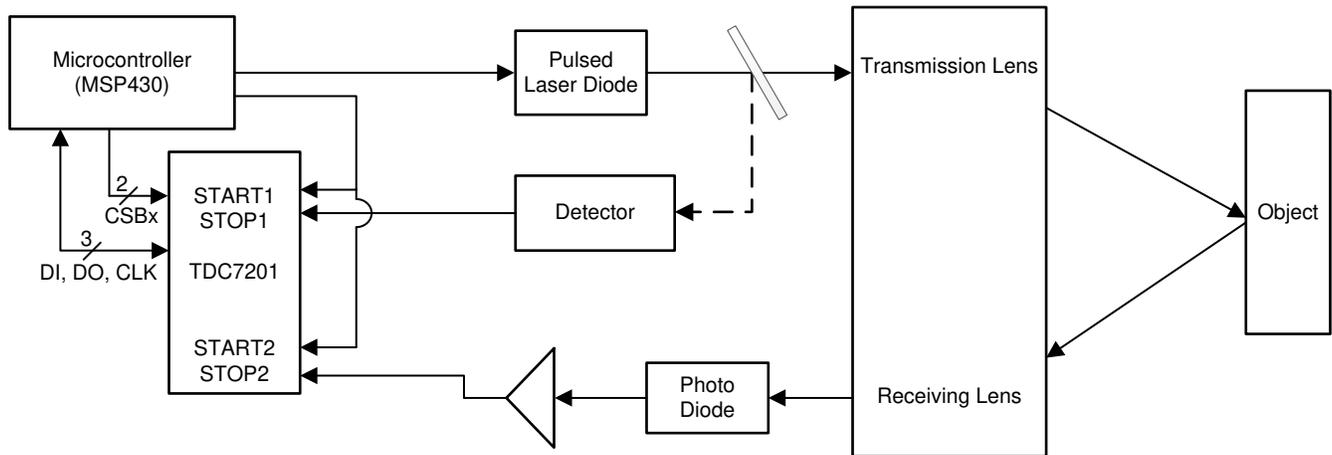


图 2-6. 简化的 TDC7201 激光雷达应用方框图

2.4 系统设计原理

2.4.1 跨阻放大器

2.4.1.1 带宽

OPA858 跨阻放大器设计的目标是实现具有 $10k\Omega$ 增益和超过 200MHz 的带宽。电路可实现的最大跨阻带宽是放大器增益带宽、增益、输入电容和反馈电容的函数。此设计选择的 NR-7500 光电二极管输入电容约为 1.1pF，反向偏置电压为 5V。光电二极管电容加上 OPA858 800fF 输入电容和 PCB 预期寄生电容，得到总输入电容约为 2pF。根据 [高速放大器跨阻注意事项应用报告](#) 中所述的跨阻设计原理，巴特沃斯响应（品质因数 $Q=0.707$ ）可产生约 100fF 所需反馈电容和 205MHz 带宽。为了获得更高的带宽，放宽品质因数 Q 至 0.95，从而使反馈电容变为 75fF，带宽变为 260MHz。 Q 值更高的确会造成频率响应峰值和脉冲响应过冲，但由于 TDC7201 测量的边沿触发性质，一些过冲允许更快的放大器边沿速率。

2.4.1.2 稳定性注意事项

与任何高速放大器设计一样，必须始终关注电路的稳定性。OPA858 是一款解补偿放大器，只有在噪声增益为 7V/V 或更高时才会保持稳定，在较低增益时会发生振荡。解补偿放大器非常适用于跨阻电路，因为在电路的噪声增益和放大器的开环增益交汇点（该点也是相位裕度测量的参考点），输入电容和反馈电容形成高频增益值。有了输入电容和为电路选定的反馈电容，在开环增益 (A_{ol}) 交叉点测量的噪声增益约为 20V/V，远高于稳定性需求。

2.4.1.3 噪声性能

对于选定的 OPA858 放大器电路设计，总计算噪声无任何后滤波，输入 RMS 电流噪声为 132nArms。该数值决定了可测量的 OPA858 最小信号，而无需求平均值，在输出端产生 1.3mVrms 输出电压噪声。添加一个后置滤波器，其频率设置为等于或高于跨阻带宽频率，可以改善电路噪声。使用一个简单的单级低通滤波器（设置为 260MHz）可将电路输入噪声降低至 90nArms，且带宽只略降至 253MHz。使用更高阶的滤波器可实现更优异的噪声性能。但是，在此设计中，输入信号电流噪声明显大于 132nArms，不需要任何额外滤波。

2.4.2 飞行时间测量

为了进行实际飞行时间测量，选择了 TDC7201 时数转换器。该转换器可提供快速测量模式，实现 0.25ps 或 5cm 单模光纤精度。此模式支持高精度高速测量，易于使用，且不需要大量处理开销。使用具有 0.75ns 上升时间和 2.5ns 延迟的 TLV3601（升级到 TLV3501）比较器驱动 TDC7201 输入。激光驱动器脉冲按照 MSP430 GPIO 引脚的两个时钟周期设置，该引脚的运行速度为 12MHz，脉冲宽度为 167ns。使用 MSP430 其中一个 PWM 引脚可缩短脉冲。但是，在测量中实际脉冲持续时间并不重要，因为 TDC7201 设置为仅在上升沿或下降沿触发。因此，边沿速率和精度决定了实际测量值。

在此测量中，TLV3601 的边沿速率和 MSP430 的脉冲宽度限制了设计可实现的脉冲速度上限和宽度下限。使用高速 ADC 直接测量 OPA858 输出，并通过较窄控制信号控制激光脉冲，从而可以实现更高性能。[TIDA-00725](#) 和 [TIDA-01187](#) 设计介绍了这类解决方案，但需要更大功耗、更高成本、更为复杂的处理解决方案。

2.4.3 仿真

2.4.3.1 带宽仿真

图 2-7 显示了适用于 OPA858 放大器设计的 TINA-TI™ 仿真原理图。电流源是光电二极管，1.1pF 电容是来自 NR-7500 光电二极管的等效电容。放大器的同相输入被偏置为正，因为光电二极管输入仅有一个方向脉冲。

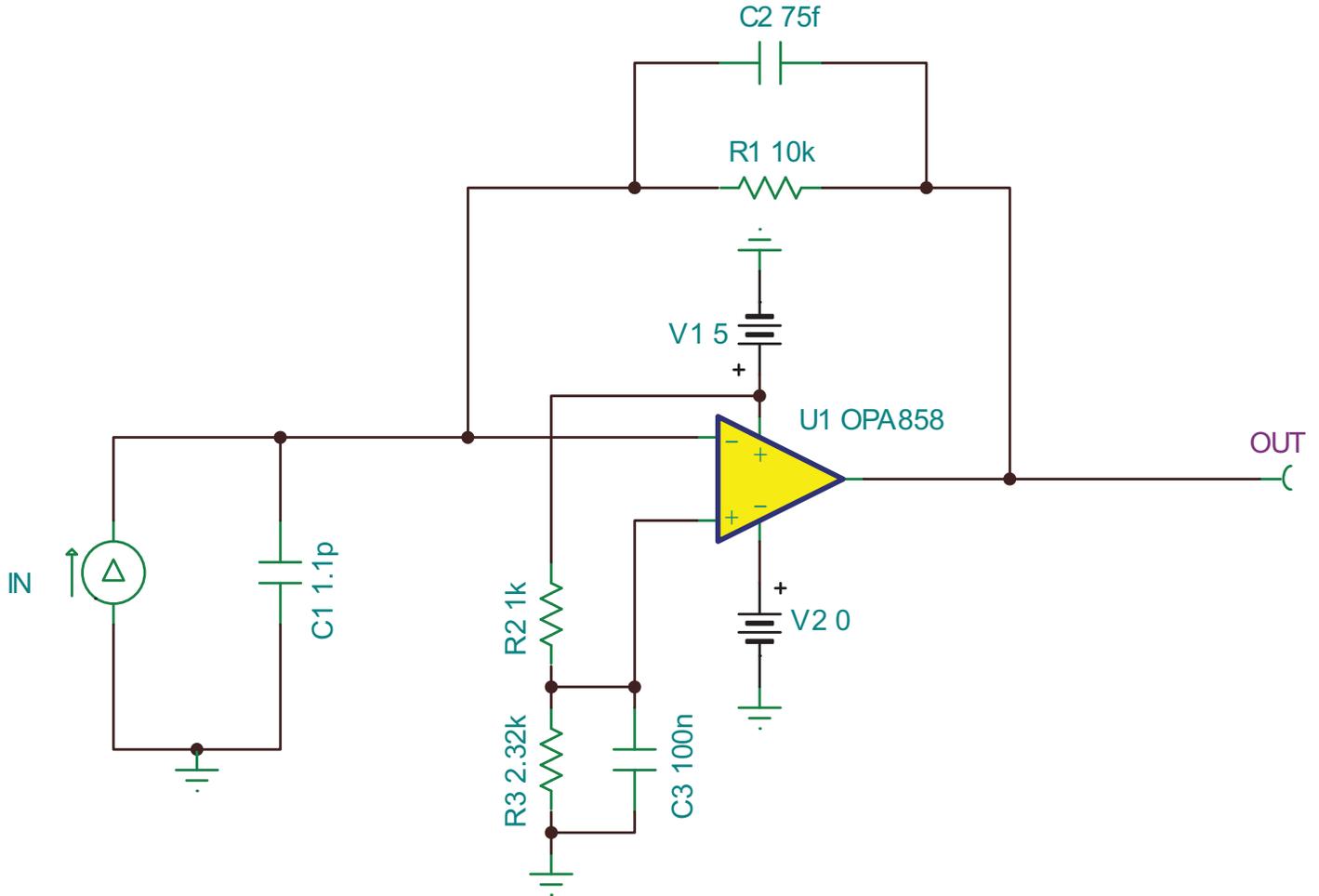


图 2-7. OPA858 带宽和噪声仿真原理图

图 2-8 显示了 OPA858 跨阻电路的带宽仿真结果。仿真带宽高于 节 2.4.1.1 中的预测值。这种数值差异是由于模型更加精确地对放大器开环响应进行建模，而计算值仅仅基于一阶电路近似值。

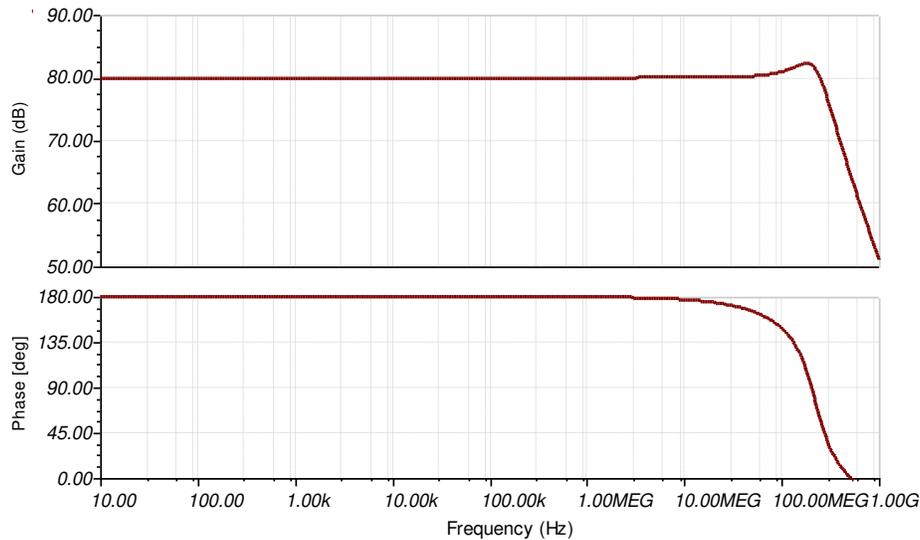


图 2-8. OPA858 带宽仿真结果

2.4.3.2 噪声仿真

噪声仿真使用和 图 2-7 中相同的电路。图 2-9 显示了在 OPA858 输出节点测量的放大器系统输出噪声。在 10k Ω 跨阻增益条件下，总仿真输出噪声为 1.245mVrms (无滤波)。该数值低于 节 2.4.1.3 中的预测值 1.3mVrms，因为使用一阶近似值计算出的电路噪声增益与模型相比并不精确。但是，计算仍可作为合理精确预测，有助于初始设计注意事项。

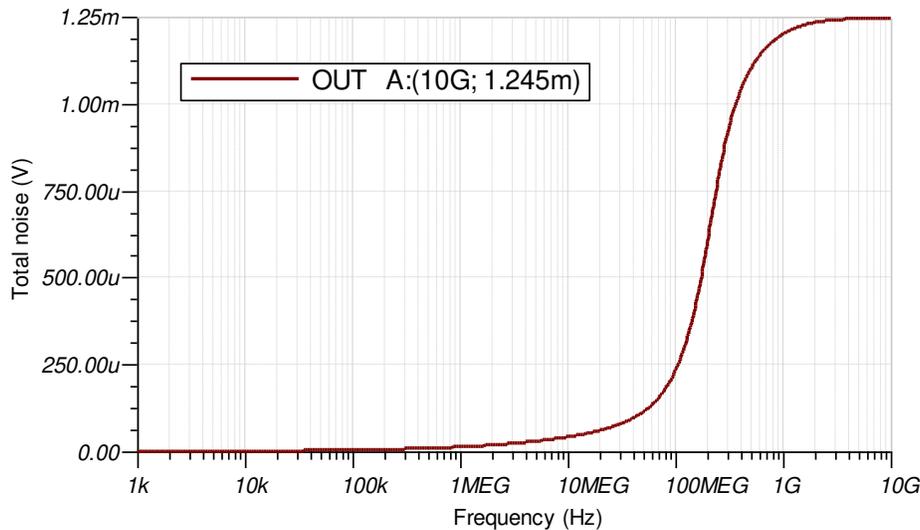


图 2-9. OPA858 放大器链仿真输出噪声

2.4.3.3 OPA858 环路增益和相位裕度仿真

为了获得具有快速上升和下降时间的脉冲响应，预计会在上升沿和下降沿产生一些过冲和振铃。OPA858 电路的相位裕度目标是 55° ，从而使 Q 因子达到 0.95。使用图 2-10 中的电路仿真 OPA858 环路增益。有关跨阻放大器稳定性理论和设计的更多信息，请参阅跨阻放大器须知博客第 1 部分和第 2 部分。

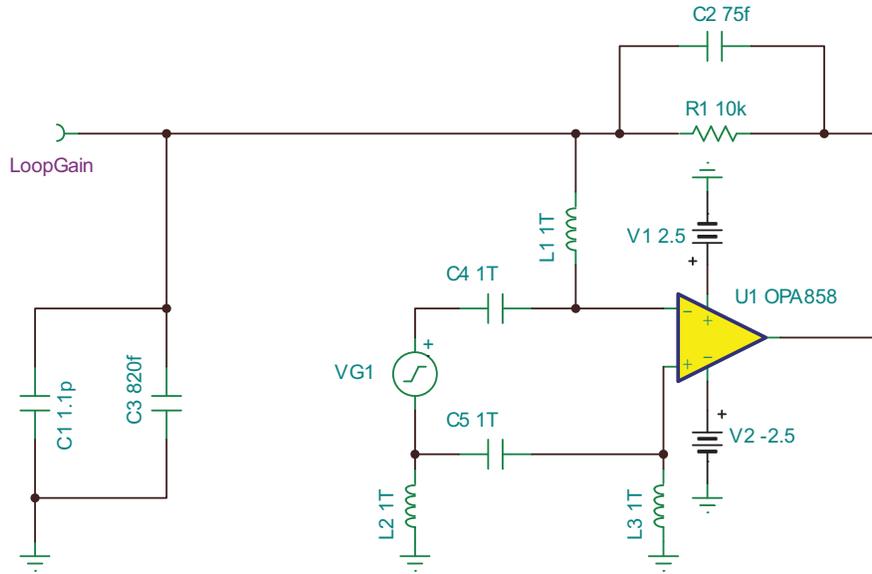


图 2-10. OPA858 环路增益分析 TINA 原理图

根据图 2-11 中所示的仿真环路增益幅度和相位，预测相位裕度约为 45° ，该值低于预期计算值，因为计算只是基于一阶近似值。

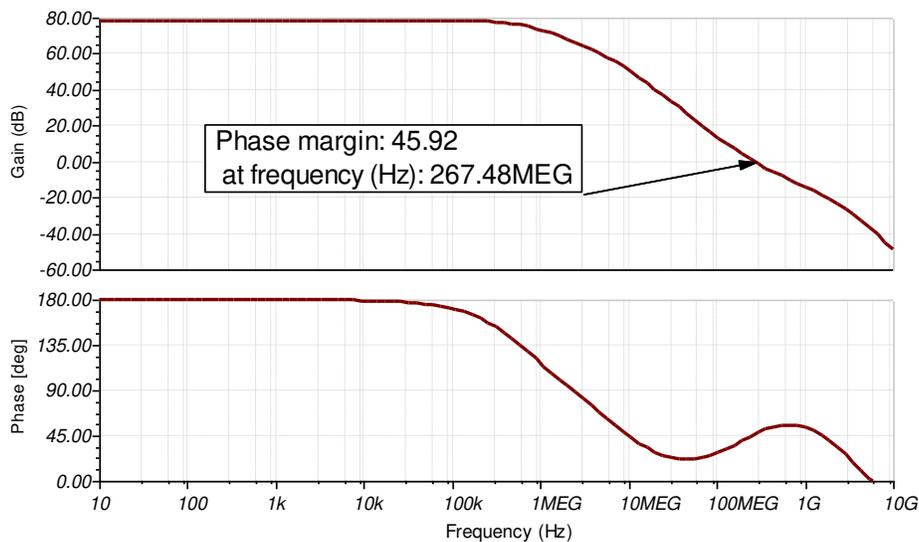


图 2-11. OPA858 电路仿真环路增益

3 硬件、软件、测试要求和测试结果

3.1 所需的硬件和软件

3.1.1 硬件

两个硬件板和相关测试设备需要进行此参考设计中所述的所有测量。所需的硬件为：

1. TIDA-060025 EVM 板
2. MSP430F5529 USB LaunchPad™ 评估套件
3. 与 GUI 软件兼容的计算机
4. 5V 电源
5. 高速示波器
6. 光纤电缆和可调衰减器
7. 数字万用表

3.1.2 软件

此参考设计使用了定制 GUI 软件和固件来控制 MSP430 和 TDC7201，以进行飞行时间测量。软件是 [TDC7201-ZAX-EVM](#) 默认软件的修改版本，可从飞行时间测量中减去校准值，同时添加距离计算。对 MSP430 固件进行的修改根据相应信号发送 COMMON_START 和 LIDAR_START 信号。

3.2 测试和结果

3.2.1 测试设置

3.2.1.1 入门：系统设置

为了防止敏感光学器件损坏，以及确保软件在正确的模式下运行，首先将 MSP430 板连接到 USB 连接器，接着为参考设计板提供 5V 电源。

3.2.1.1.1 激光驱动器设置

1. 确保跳线 JP12 和 JP14 接地，跳线 J9、J10 和 J13 处于默认位置。
2. 使用 R31 电位器将 CIB (引脚 17) 电压设置为 $1.15V \pm 25mV$ 。

备注

此调整将约 10mA 电流驱动到 LDM5S515-015 激光二极管。该电流使激光二极管处于激光阈值。

3. 使用 R60 电位器将 C11 (引脚 12) 电压设置为 $1.65V \pm 25mV$ 。

备注

此调整将约 40mA 信号电流驱动到激光二极管。

4. 如果使用另一个激光二极管，调整阈值和信号偏置电压。
5. 连接 JP14 到 VDD，设置激光处于阈值。

3.2.1.1.2 接收器和光学设置

1. 按照 节 3.2.1.1.1 中的设置，使激光二极管的光功率输出在评估过程中保持恒定。
2. 顺时针旋转可变光衰减器 (VOA) 的旋钮，以实现最大衰减。

备注

该调整可确保较大限度地减少光电二极管的光功率事件。

此 [可变光纤内联衰减器](#) 进一步提供了有关推荐光衰减器的详情。

3. 将万用表连接到 IMON 连接器。

备注

IMON 引脚提供与光电二极管电流的 20% 成比例的电流，用于外部电流监控。默认情况下，电路板上配有 IMON 到 GND 的 50 Ω 电阻器，用于产生电压。

4. 将跳线 JP12 设置为 VDD。

备注

激光二极管常亮。

5. 进行光电二极管输出电流直流测量。
6. 逆时针旋转 VOA 的旋钮，以降低衰减。
7. 观察万用表上的电压读数。
8. 计算光电二极管输出电流。
9. 移除 JP12，将激光二极管驱动器控制返回到 MSP430 的触发信号。

3.2.2 测试结果

3.2.2.1 验证和测量的性能

图 3-1 显示了用于评估系统性能的实验室工作台设置。

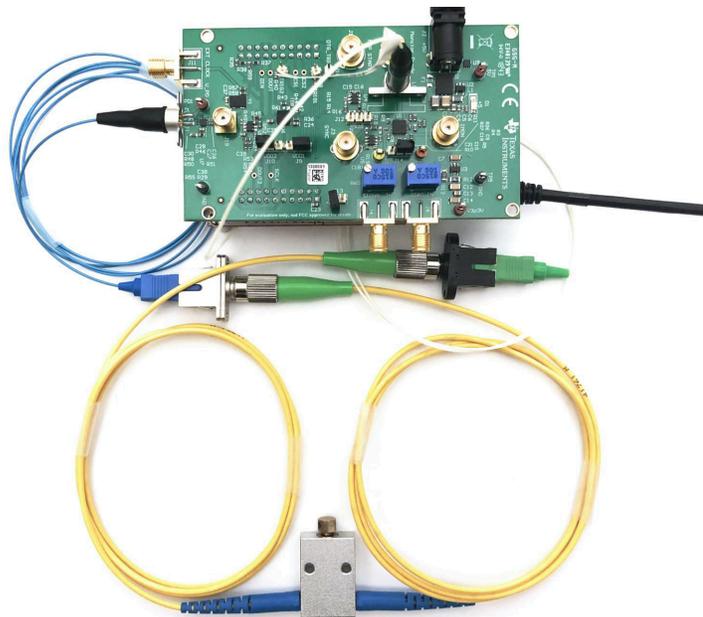
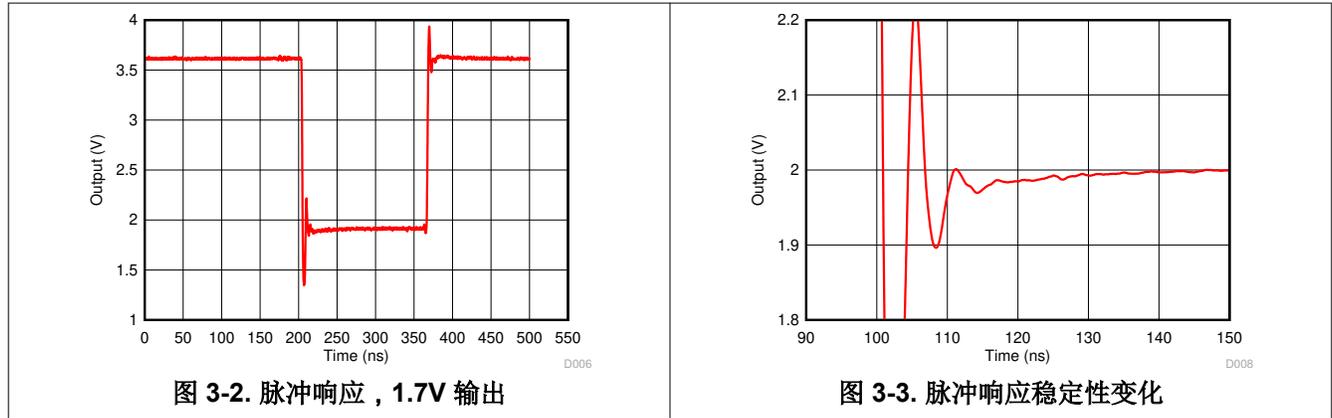


图 3-1. 设计的实验室工作台设置

3.2.2.1.1 脉冲响应测量

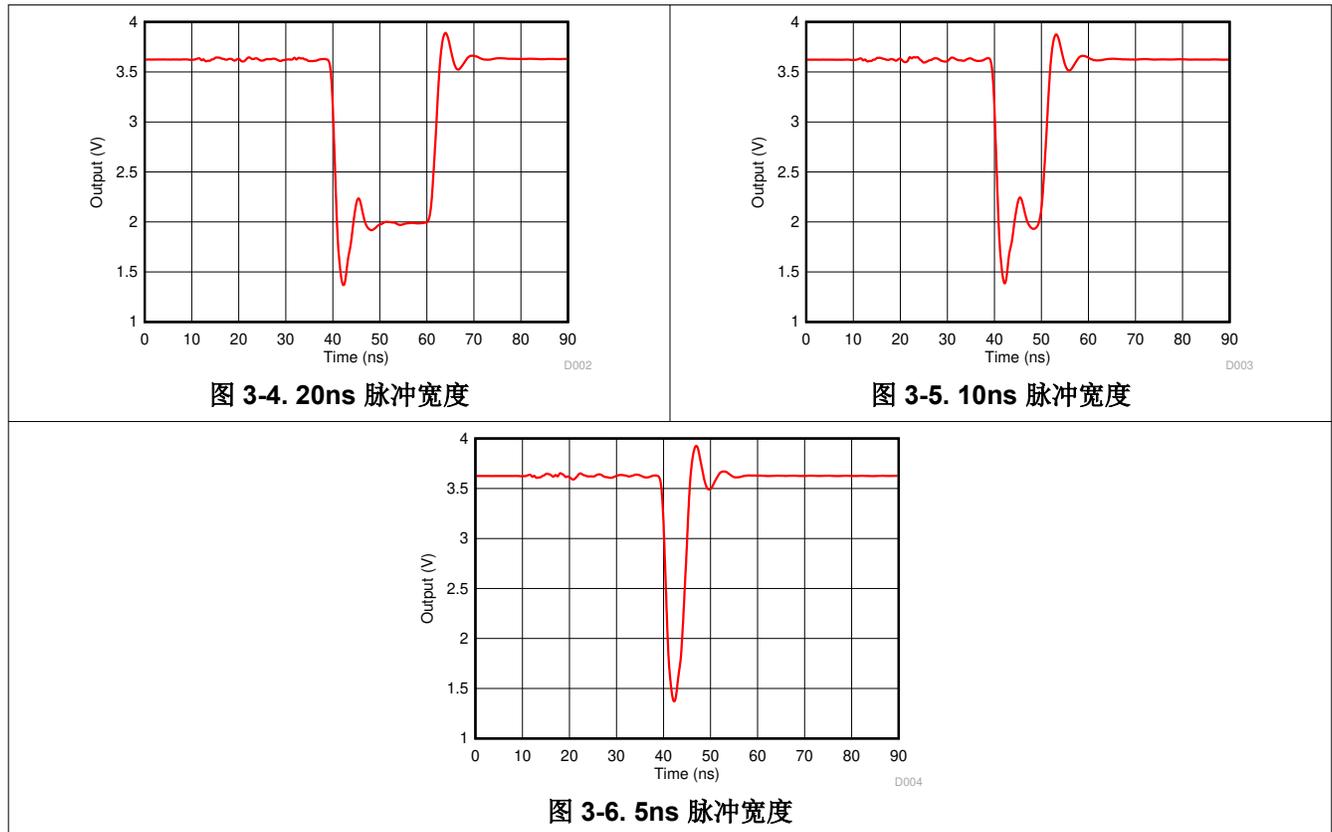
3.2.2.1.1.1 脉冲响应稳定

图 3-2 显示了 MSP430 引起的标准脉冲响应。光电二极管的光功率由衰减器控制，以获得 1.7V 输出电压振幅。图 3-3 详细展示了脉冲响应最终稳定至 2V。在此设计中，可通过改变放大器响应来提升稳定性能，但对于基于 TDC7201 的设计并无必要。



3.2.2.1.1.2 脉冲响应和输出脉冲宽度

图 3-4、图 3-5 和 图 3-6 显示了脉冲响应与在 OPA858 输出端测量的脉冲宽度之间的函数关系。将光衰减器调节至驱动最终输出电压 2V。使用高速脉冲发生器为这些测试驱动激光驱动器，具体做法是移除电阻器 R17 并将脉冲发生器连接到跳线 J12。



3.2.2.1.1.3 上升和下降时间

表 3-1 列出了在节 3.2.2.1.1.2 中所述的不同脉冲宽度测量下，相对于基线仿真的脉冲响应上升和下降时间。下降时间性能略高于仿真值，但上升时间性能低于仿真值。上升时间性能下降可能是由于激光驱动器的关断性能限制响应而不是放大器。

表 3-1. OPA858 上升和下降时间测量

测量	下降时间		上升时间	
	90-10%	80-20%	10-90%	20-80%
仿真	1.20 ns	0.85 ns	1.18 ns	0.84 ns
100ns 脉冲宽度	1.11 ns	0.77 ns	1.68 ns	1.19 ns
20ns 脉冲宽度	1.12 ns	0.77 ns	1.72 ns	1.21 ns
10ns 脉冲宽度	1.16 ns	0.80 ns	1.84 ns	1.27 ns
5ns 脉冲宽度	2.00 ns	1.29 ns	2.68 ns	1.67 ns

3.2.2.1.1.4 过驱动响应

图 3-7 显示了 OPA858 在信号路径中的脉冲响应（无光衰减器）。在这种情况下，放大器输出饱和，扩展 20ns 输入脉冲至测量脉冲宽度 36ns，并且与图 3-4 中的非饱和图相比，下降时间增加至 1.5ns。脉冲扩展并不影响此设计，因为测量是在下降沿触发，但是下降时间可能会增加误差，如节 3.2.2.1.2 中进一步所述。图 3-7 也显示了此设计中偏置下测量得到的最大可实现信号摆幅为 2.6V。

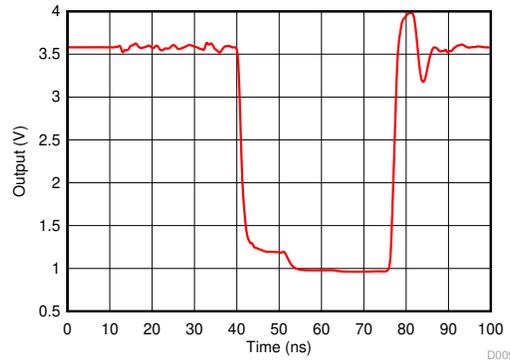


图 3-7. OPA858 过驱动响应

3.2.2.1.2 飞行时间测试

通过使用通过光纤介质的恒定光速，此参考设计可用于测量任何连接光缆的长度。此原理与通过空气进行的测量相同，只是使用了不同的光速常数。在此设计测试中，使用了标准单模光纤折射率 1.444，并将标准真空中光速除以 1.444。根据 节 3.2.1 设置激光功率后，此设计默认配置为使用 TDC7201 执行飞行时间测量。GUI 软件允许开始测量，同时可控制 TDC7201 设置。对于本节中的测试，跨阻增益为 10kΩ。

图 3-8 和 图 3-9 显示了总长为 1.1m 电缆（包括任何添加的连接器）的校准和距离测量。GUI 显示屏显示了不同时间的测量结果，计算得到的平均值在显示屏右上角的结果中显示。此功能内置在默认 TDC7201EVM 软件中。有关更多信息，请参阅 [TDC7201-ZAX-EVM 用户指南](#)。校准时间测量消除了因连接到系统中始终存在的光电二极管和激光二极管的固定光纤电缆而添加的延迟。使用 100 点平均值计算校准值，标准偏差为 0.22ns，符合 TDC7201 预期。图 3-9 显示了 1.09855m 电缆校准后的测量，结果为平均误差仅 2mm、标准偏差 0.29ns (6.1cm)。此测量表明，正如所预期的，系统精度的主要限制取决于 TDC7201 0.25ns 精度。使用光衰减器调整这些测量的信号振幅。

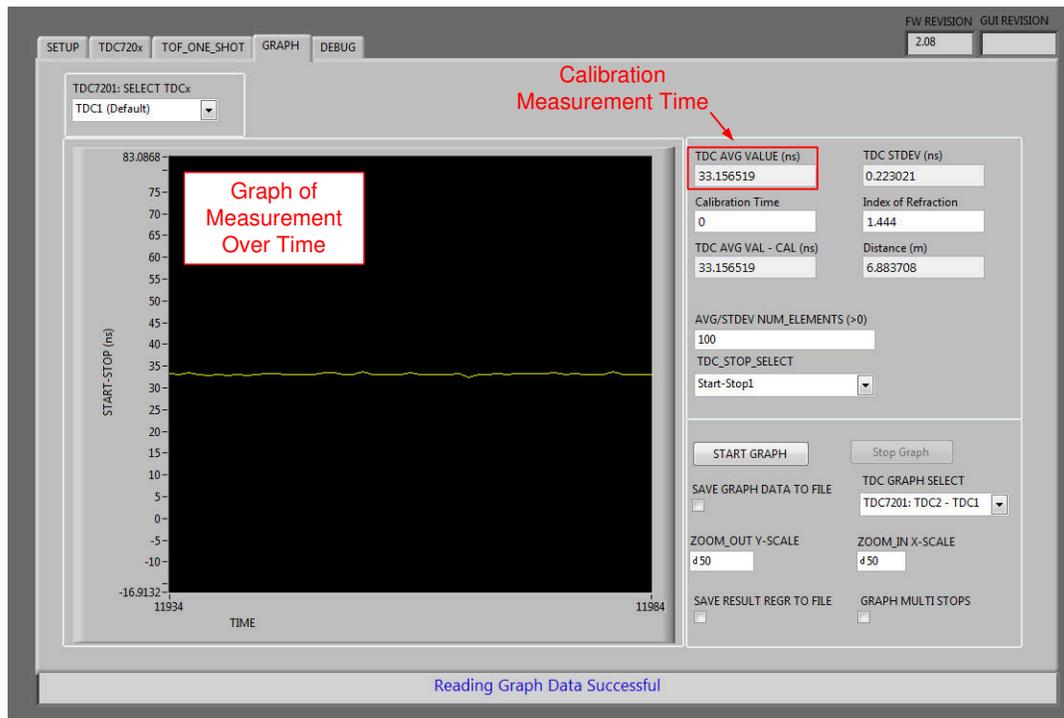


图 3-8. 1.1m 电缆测量校准

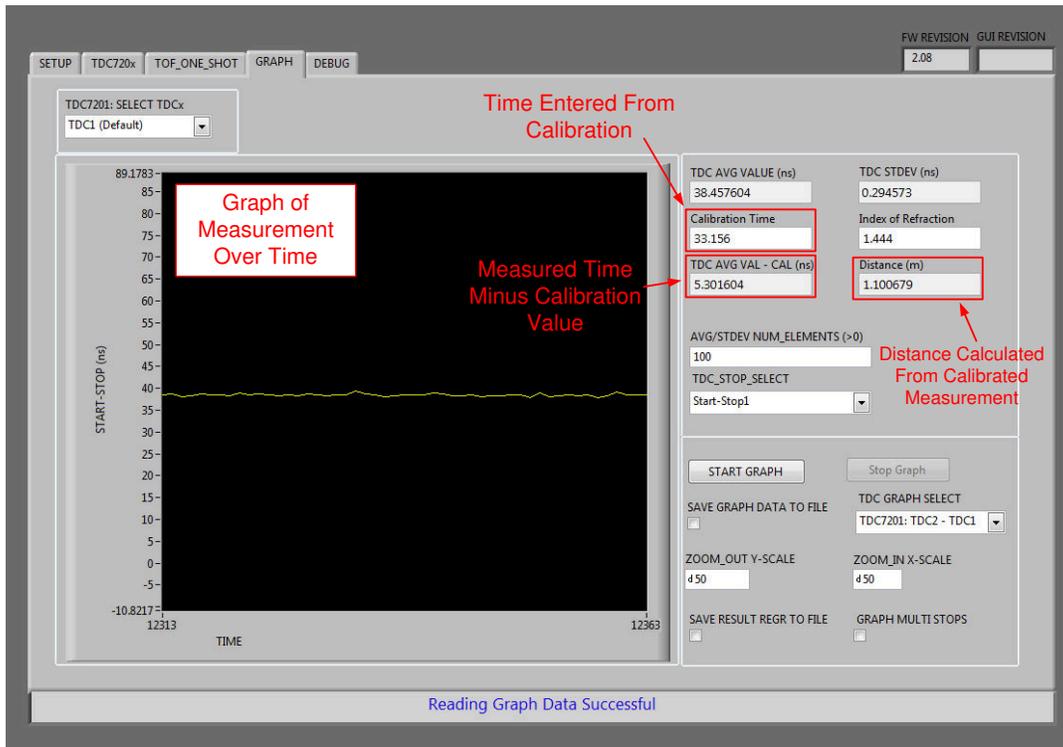


图 3-9. 1.1m 电缆测量

图 3-10 和 图 3-11 显示了 2.07m 电缆 (带连接器, 系统中无任何光衰减) 的校准和测量。由于没有衰减存在, 放大器电路在测量期间被过驱动, 如 图 3-7 所示, 结果与非过驱动信号下的测量相比, 产生较大平均误差 2.9cm, 因此意味着过驱动信号增加了一定的系统延迟, 而在校准中并未考虑该延迟。此测试中测量的电缆在其路径中具有开放式可调光衰减器, 也会造成一定误差。标准偏差为 0.25ns, 符合 TDC7201 预期。

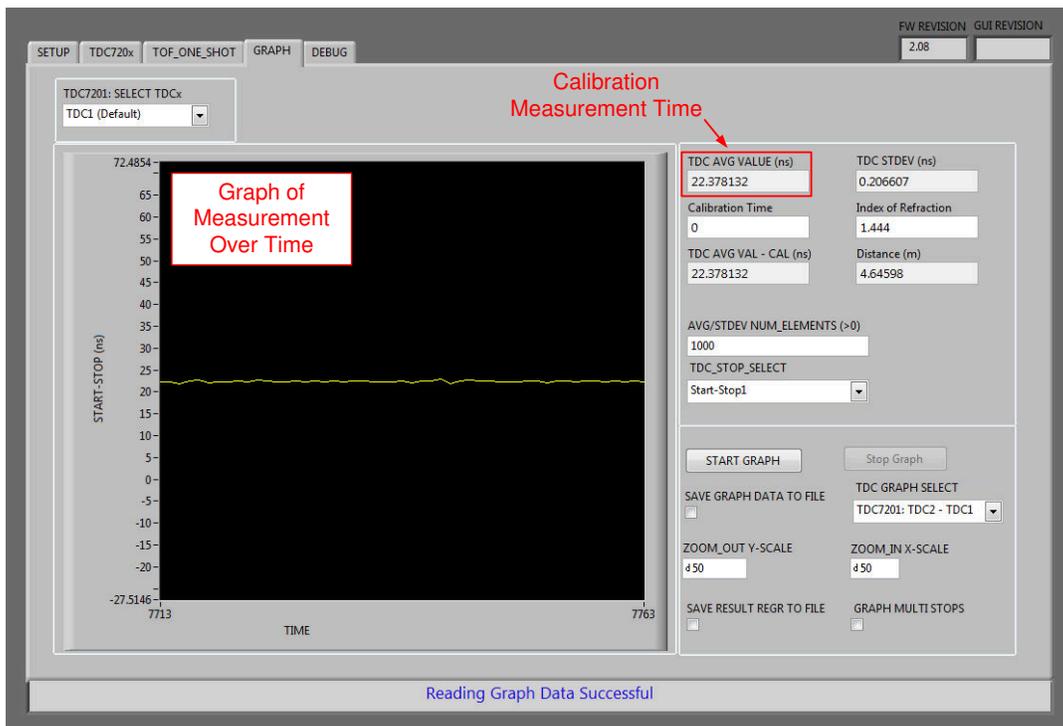


图 3-10. 2m 电缆测量 (无任何衰减校准)

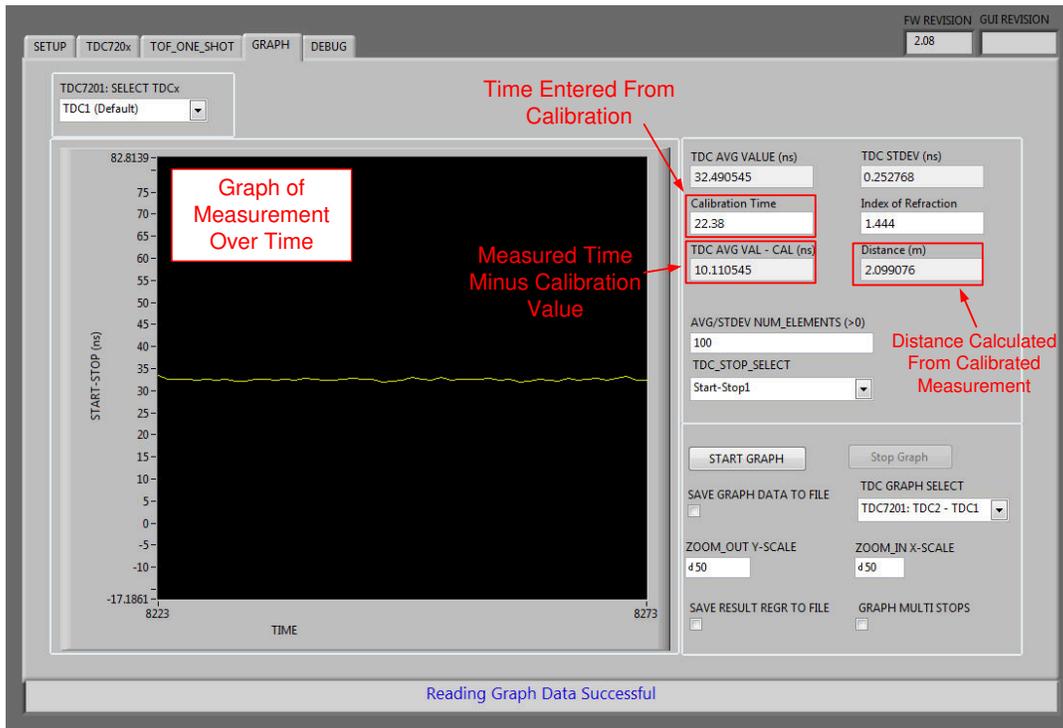


图 3-11. 2m 电缆测量 (无衰减)

3.2.2.1.3 飞行时间测量误差来源

由于此设计中进行了光学 ToF 测量，需要考虑在光学连接、电缆和衰减器中可能存在的其他潜在误差来源。光纤电缆之间的连接十分敏感，可能会引入由于错位、灰尘或任何其他可能遮盖连接接口的材料造成的错误。此外，光纤电缆弯曲或缠绕严重时可能会改变光传播路径。关于此设计中的测量，光纤连接尽量保持干净、准确，但是除了测量本身存在的误差外，也可能会因光纤电缆造成误差。

4 设计文件

4.1 原理图

图 4-1 和 图 4-2 展示了连接 MSP430 LaunchPad™ EVM 的参考设计 EVM 板原理图。

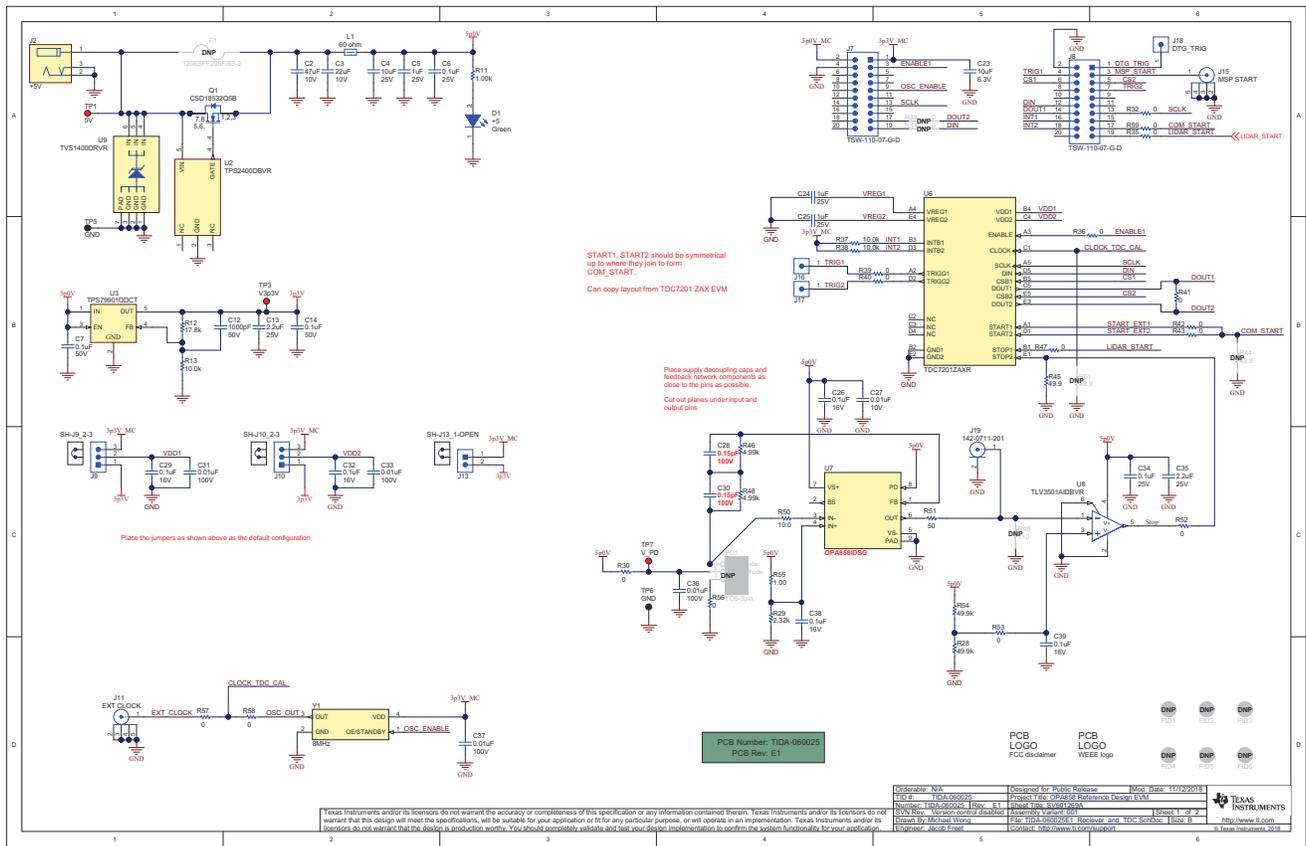


图 4-1. 参考设计原理图第 1 页 (Rx 路径)

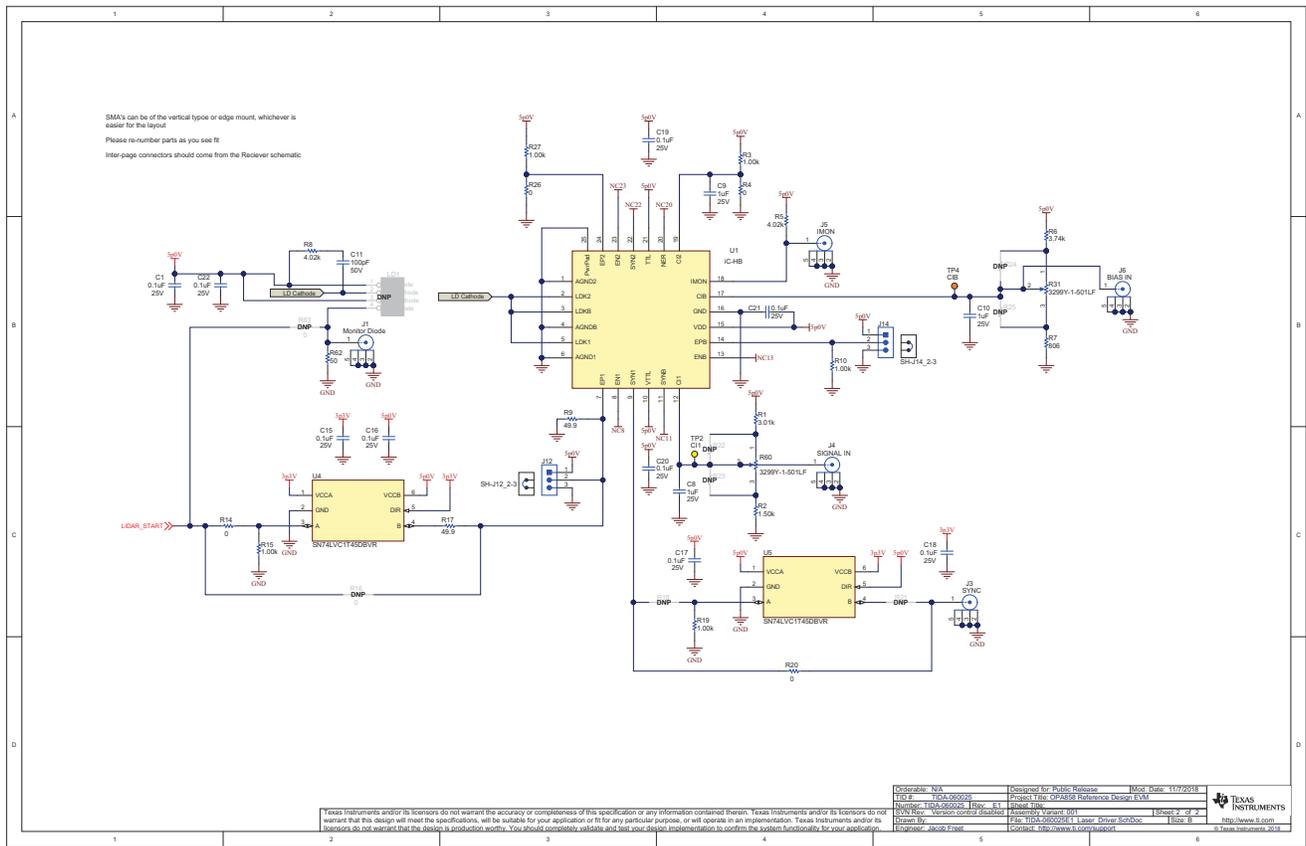


图 4-2. 参考设计 EVM 原理图第 2 页 (Tx 路径)

要下载原理图，请参阅 [TIDA-060025](#) 中的设计文件。

4.2 物料清单

要下载物料清单 (BOM)，请参阅 [TIDA-060025](#) 中的设计文件。

4.3 PCB 布局建议

高速跨阻设计必须密切关注布局中的寄生电容和电感，它们会影响跨阻放大器和光电二极管的输入和反馈元件。此设计遵循 [OPA858 数据表](#) 中 *布局* 部分的指导原则，以确保优异性能。

4.3.1 布局图

要下载层图，请参阅 [TIDA-060025](#) 中的设计文件。

4.4 Altium 项目

要下载 Altium Designer® 工程文件，请参阅 [TIDA-060025](#) 中的设计文件。

4.5 Gerber 文件

要下载 Gerber 文件，请参阅 [TIDA-060025](#) 中的设计文件。

5 相关文档

1. iC-HB、3 通道 155MHz 激光开关数据表
2. OEQuest，CATV 返回路径 LDM5S515 系列 CWDM 同轴 DFB-LD 模块数据表
3. Fibermart，可变光纤内联衰减器
4. 德州仪器 (TI)，高速放大器跨阻注意事项应用报告
5. 德州仪器 (TI)，OPA855 8GHz 增益带宽积、7V/V 稳定增益、双极输入放大器数据表
6. 德州仪器 (TI)，OPA859 1.8GHz 单位增益带宽、3.3nV/√Hz、FET 输入放大器数据表
7. 德州仪器 (TI)，使用 TDC7201 进行短时间测量应用报告
8. 德州仪器 (TI)，具有可配置电压转换和三态输出的 SN74LVC1T45 Single-Bit 双电源总线收发器数据表
9. NR-7500
10. 德州仪器 (TI)，光学前端系统参考设计设计指南
11. 德州仪器 (TI)，使用高速数据转换器的激光雷达脉冲飞行时间参考设计设计指南
12. 德州仪器 (TI)，跨阻放大器须知博客 第 1 部分 和 第 2 部分
13. 德州仪器 (TI)，TDC7201-ZAX-EVM 用户指南

5.1 商标

LaunchPad™, TI E2E™, and TINA-TI™ are trademarks of Texas Instruments.

iC-Haus™ is a trademark of iC-Haus GmbH.

OEQuest™ is a trademark of Optilab, LLC.

CEL™ is a trademark of California Eastern Laboratories.

Altium Designer® is a registered trademark of Altium LLC or its affiliated companies.

所有商标均为其各自所有者的财产。

6 作者简介

Jacob Freet 是德州仪器 (TI) 的应用经理，负责位于亚利桑那州图森市的高速放大器产品线。除了全差分、可变增益和其他高速放大器，他还和应用工程师团队合作，为 TI 高速运算放大器提供支持。

7 修订历史记录

注：以前版本的页码可能与当前版本的页码不同

Changes from Revision * (November 2018) to Revision A (April 2022)	Page
• 更新了整个文档中的表格、图和交叉参考的编号格式。.....	1
• 设计指南添加了备选器件。.....	1

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