

Lijia Zhu

摘要

激光雷达 (Light Detection And Ranging, Lidar) 使用激光作为载波来探测目标的运动参数。相比于摄像头, 激光雷达可以提供更精确的距离测量功能, 相较于超声波雷达, 激光雷达具有更远的探测距离和更高的分辨率, 毫米波雷达在雪糕筒路障等场景下会漏警, 激光雷达则不受此影响。随着智能驾驶向着更高等级的演进, 激光雷达是整个车载融合感知系统中不可或缺的关键传感器。

ToF 架构是激光雷达常用的测距原理, 为了保证足够的测距精度和探测距离, ToF 要求激光器以 ns 级别发射激光脉冲。LMG1025 是业内广泛使用的激光雷达用低边 GAN 驱动器, 但是, LMG1025 要求输入脉冲信号高电平达到 2.6V 以上, 对于一般的 SOC/FPGA 而言很难满足。TLV3602 以其高带宽, 低时延等特性可以作为 SOC/FPGA 到 LMG1025 之间的电平转换器角色, 本文主要介绍 TLV3602 在激光雷达发射模块中应用的注意点。

内容

1 引言.....	2
2 TLV3602 在激光雷达发射系统中的应用.....	3
2.1 激光雷达发射部分.....	3
2.2 TLV3602 做高速电平转换器.....	4
2.3 STL3602 应用建议.....	5
3 参考文献.....	9

插图清单

图 1-1. 激光雷达探测的三个维度及 3D 点云示意图.....	2
图 1-2. 激光雷达系统简图.....	3
图 2-1. 激光雷达发射系统及工作原理简图.....	3
图 2-2. LMG1025 输入电压门限.....	4
图 2-3. LMG1025 输入电压门限.....	4
图 2-4. 差分驱动架构示意图.....	5
图 2-5. Overdrive 和 Underdrive 对传播延迟的影响示例.....	6
图 2-6. Overdrive 和 Underdrive 示意图.....	6
图 2-7. 不合理设置 Overdrive 和 Underdrive TLV3602 工作波形图.....	7
图 2-8. 优化设置 Overdrive 和 Underdrive TLV3602 工作波形图.....	7
图 2-9. TLV3602 在激光雷达发射系统应用架构图.....	8
图 2-10. TLV3602 常温单点校准时延特性.....	8

1 引言

激光雷达 (Light Detection And Ranging, Lidar) 使用激光作为载波来探测目标的运动参数。除了基本的目标探测功能之外，激光雷达还有不少进阶的功能可以实现，比如，根据探测器接收光强化的变化实现对目标的低分辨率的光学探测；根据回波的波形判断目标的形状；根据背景光强度的变化判断白天和黑夜等。提供高分辨率的 3D (水平方向 H、垂直方向 V 和距离 R) 点云图是激光雷达独一无二的优势，如图 1-1 所示为激光雷达的探测维度及点云结果示意图。随着智能驾驶向着更高等级的演进，激光雷达是整个车载融合感知系统中不可或缺的关键传感器。

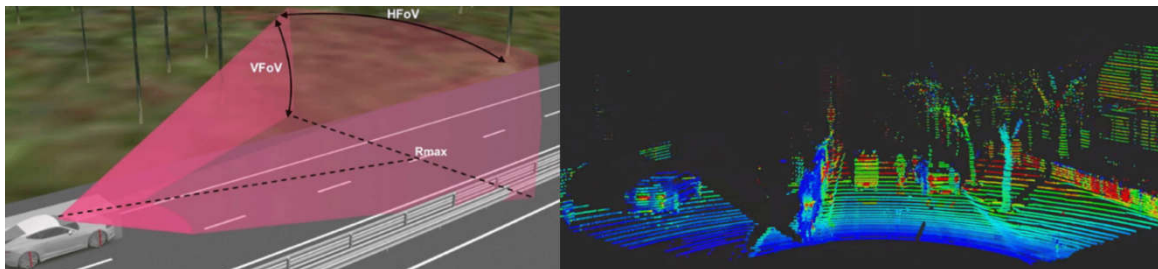


图 1-1. 激光雷达探测的三个维度及 3D 点云示意图

ToF 原理是激光雷达常用的测距原理，它通过发送 ns 级别的短脉冲，经目标反射后，接收机比较发射脉冲和接收脉冲的时间差来计算目标的距离。目标距离由下式给定：

$$r = (c \cdot t) / 2 \quad (1)$$

其中 c 是真空中光速， t 是激光脉冲发送到返回的时间， r 是目标距离激光雷达的距离。

按照功能可以将激光雷达模组粗略地分为四部分，如图 1-2 所示：一是激光的收发系统，包含收发的换能器件和光学部分，换能器件是指发射端的激光器和接收端的 APD 或 SPAD，它们负责电到光和光到电的相互转换，光学部分负责对发射光线的校准和对接收光线的对焦；二是数字处理部分，主要是 SOC 或 FPGA 小系统 (SOC/ FPGA+核心供电)，SOC 或 FPGA 负责发送脉冲的生成和接收点云的处理，核心供电给 SOC 或 FPGA 提供低压大电流的电源供电；三是光学扫描部分，负责完成激光束的偏转以获取一定的扫描角度，常见的扫描架构有机械扫描，半固态转镜扫描，MEMS 振镜扫描等方式；四是系统供电、监控、除雾等辅助系统，系统供电提供电机，SOC 小系统，除雾等功能模块的供电，监控模块负责整机关键节点的电流、电压和温度监控，提高系统可靠性，除雾功能对视窗进行加热以避免视窗结露衰减激光能量。

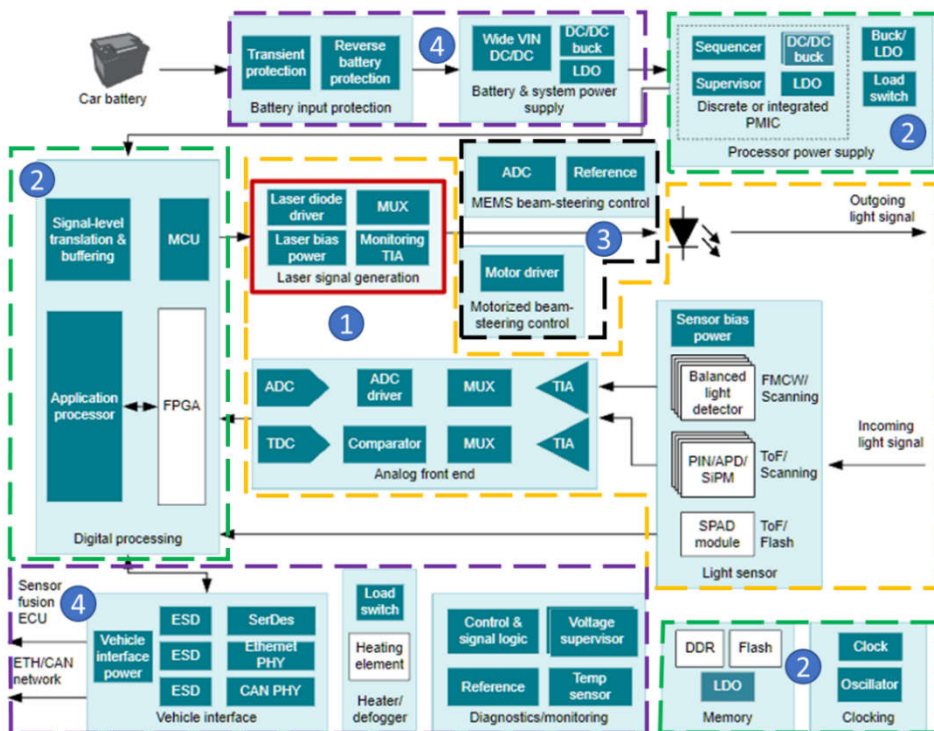


图 1-2. 激光雷达系统简图

2 TLV3602 在激光雷达发射系统中的应用

2.1 激光雷达发射部分

图 1-2 中红色实线框内部分是激光雷达的发射部分，其系统简图及工作原理如图 2-1 所示。C1 为储能电容，在一定的时间内（时长大于脉冲发射间隔）由 V_{IN} 经 R_{IN} 充电至预定的电压； D_L 为激光二极管，当 Q1 开启时，C1 提供能量， D_L 打出激光，根据不同的应用， D_L 的峰值电流最大可达 50A 左右；Q1 由 Gate Driver 驱动，Gate Driver 由 $V_{command}$ 脉冲信号驱动，此信号一般由 FPGA 生成，脉宽一般在 1-10ns 级别，为了提供这么窄的脉冲信号，FPGA 输出的摆幅一般只有 1.8V。

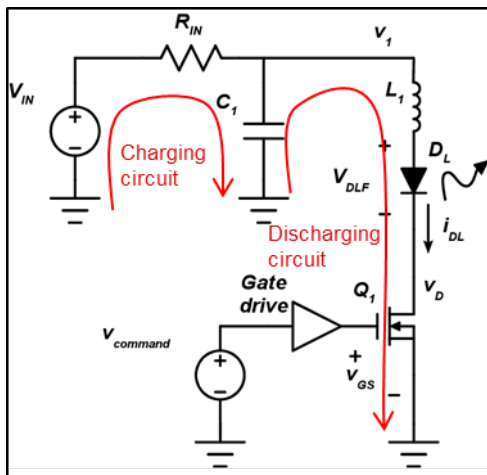


图 2-1. 激光雷达发射系统及工作原理简图

LMG1025-Q1 是发射系统中 Gate Driver 的较好选择之一。LMG1025-Q1 是一款高性能低边 5V 栅极驱动器，用于 GaN 和 MOS FET 的栅极驱动，它适用于如无线电源传输和激光雷达等高速应用场景，支持最短 1.25ns 的驱

动脉宽。但是，LMG1025 的输入高电平门限要求大于 2.6V，如图 2-2 所示的是手册部分截图，FPGA 常见的 1.8V 输出信号难以满足其所需的高电平门限。

Input DC Characteristics					
V_{IH}	IN+, IN- high threshold		1.7	2.6	V
V_{IL}	IN+, IN- low threshold		1.1	1.8	V
V_{HYST}	IN+, IN- hysteresis		0.38	1	V

图 2-2. LMG1025 输入电压门限

2.2 TLV3602 做高速电平转换器

常规的电平转换器，比如 SN74LVC4T245 等，不支持 ns 级别脉冲的电平转换，此时使用高速比较器作为此处电平转换器件是比较好的选择。TLV3602 以其各种优点适合在激光雷达的发射系统中胜任电平转换的功能：

1. 支持 ns 级别的脉冲电平转换，如图 2-3 所示为输入 1.8V 摆幅 1.25ns 脉宽脉冲（黄色线），输出 5V 摆幅（洋红色线）的实测波形。



图 2-3. LMG1025 输入电压门限

2. 双通道集成，单芯片支持 LMG1025 差分输入的工作场景，即如图 2-4 所示的架构，差分信号时延差异会导致边沿不对齐，相减后脉宽展宽或缩减。TLV3602 双通道的设计在器件级别保证了经过比较器后差分信号之间的时延差异最小（同一个晶圆和封装），使得 LMG1025 输出的脉冲宽度畸变最小。

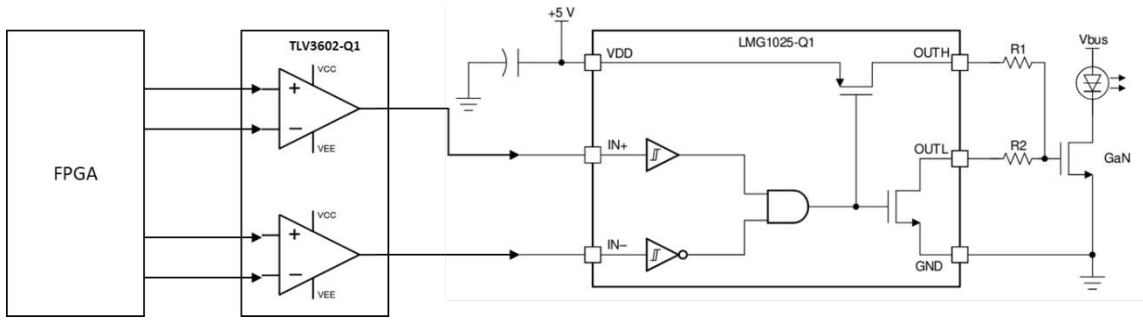


图 2-4. 差分驱动架构示意图

3. 高达 325MHz 的脉冲重复周期 (toggle frequency) 支持激光雷达应用场景中 us 级别脉冲间隔的需求。

表 2-1 所示的是 TLV3602 和友商类似器件的主要指标对比，TLV3602 具有更快的上升沿，更低的 skew，更高的 toggle freq 和更宽的工作温度范围。

表 2-1. 主要器件指标对比

Specifications	TP1961/2	LT1713/4	TLV3601/2
Manufacturer	3Peak	ADI	TI
Num Channels	1/2	1/2	1/2
Vs min (V)	2.5	2.4	2.4
Vs max (V)	5	7	5.5
Prop delay (ns)	7	4.5	2.5
Tr(ns)	1	4	0.75
Tf(ns)	1	4	0.75
Skew(ps, dual channel only)	400	-	24
Toggle freq(MHz)	50	-	325
Vos max @ 25C (mV)	10	6	5
Iq typ (mA) per channel	2.4	15	4.9
Iq max @ 25C (mA)	-	19	7
Output type	Push-Pull	Push-Pull	Push-Pull
Ibias typ (pA)	6	5	1000
Operating Temperature (°C)	-40 to 125	-40 to 85	-40 to 125
Release Status	Active	Active	Active
Available Packages	Single: SOT-23-5, SC70-5 Dual: SOIC-8, MSOP-8, DFN-8	Single: MSOP-8 Dual: SSOP-16	Single: SOT-23-5, SC70-5 Dual: SOIC-8, MSOP-8, DFN-8

2.3 STL3602 应用建议

对于一个比较器来说，输入信号 (input) 穿过参考电压 (V_{REF}) 与输出响应边沿之间存在延迟，称为传播延迟 (T_p)，测量范围为输入的中点到输出的中点，根据输入信号穿越参考电压的方向，分别有上升沿传播延迟 (T_{pLH}) 和下降沿传播延迟 (T_{pHL})，它们的值可能有所不同，传播时延除了和器件本身设计有关外，还随 Overdrive(V_{OD})和 Underdrive(V_{UD})电压而变化。

Overdrive 是指输入信号超出参考电压的部分电压，Underdrive 是指输入信号低于参考电压的部分电压。如图 2-5 所示的例子中， V_{OD} 和 V_{UD} 电压都为 100mV。 V_{OD} 和 V_{UD} 都会影响传播延迟，图 2-6 的曲线 TLV3511 的 V_{OD}/V_{UD} 和传播时延之间的关系 (当前 TLV3602 手册还没有类似的数据，后续会更新，此处以 TLV3511 为例子)，可以看到， V_{OD} 电压越小，传播延迟越长，尤其是<100mV 时，传播时延急剧增加，如果是高速的应用场景，建议适当增大 V_{OD} 。与 V_{UD} 相反，较大的 V_{UD} 会导致 t_p 升高，因此在输入信号摆幅较大的场景下，参考电压设置不合理，会导致上升沿和下降沿传播延迟(T_{pLH} 和 T_{pHL})之间的产生较大差异，此时会导致输入脉宽和输出

脉宽之间出现差异。同时，较大的 V_{OD} 和 V_{UD} 会导致器件传播时延随温度变化产生较大的改变，影响系统在高低温下的性能，图 2-6 下方 V_{UD} 在 100mV 以上时，传播时延会随温度变化 3ns 以上。

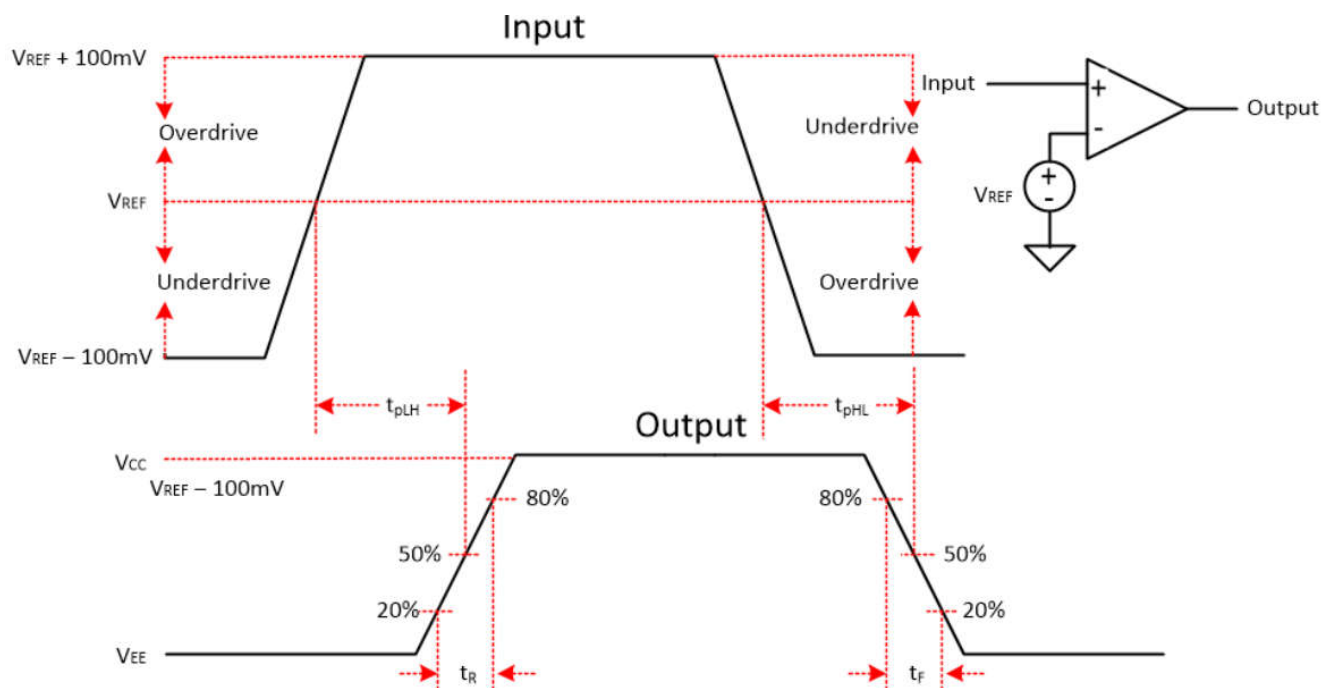


图 2-5. Overdrive 和 Underdrive 对传播延迟的影响示例

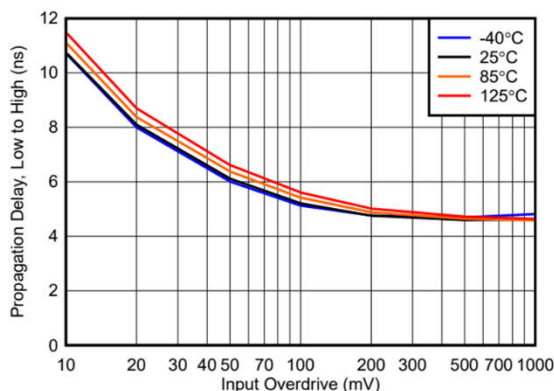


Figure 5-21. Propagation Delay (Low to High) vs. Overdrive (5V)

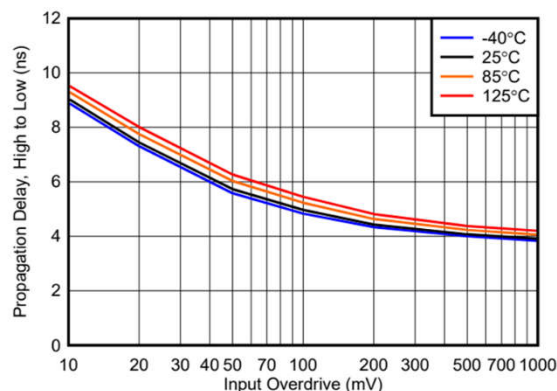


Figure 5-22. Propagation Delay (High to Low) vs. Overdrive (5V)

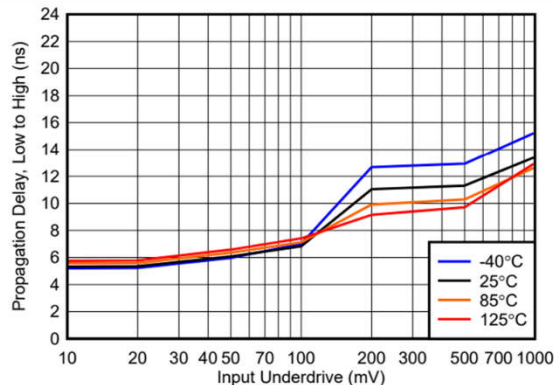


Figure 5-25. Propagation Delay (Low to High) vs. Underdrive (5V)

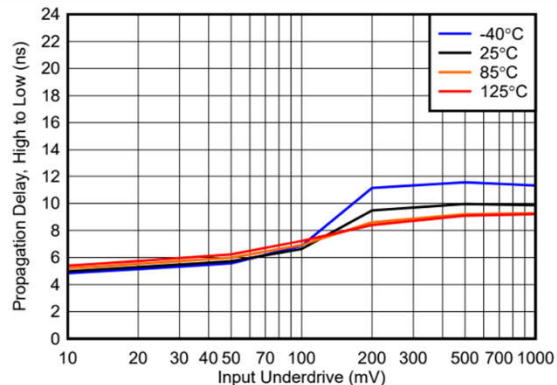


Figure 5-26. Propagation Delay (High to Low) vs. Underdrive (5V)

图 2-6. Overdrive 和 Underdrive 示意图

因此在应用中，需要注意参考电压的合理设置，建议选在 FPGA 实际输出摆幅一半的位置，图 2-7 所示的实例中，FPGA 虽然是 1.8V 系统，实际输出的高电平只有 1.5V 左右，此时仍使用 0.9V 的 V_{ref} ，就会在个别芯片上面看到输出脉冲边沿的抖动现象（传播时延和芯片本身制造也有关，个别芯片叠加上不合理的 V_{OD} 设置会出现此现象）。适当降低参考电压后，可以看到如图 2-8 所示的改善后效果。

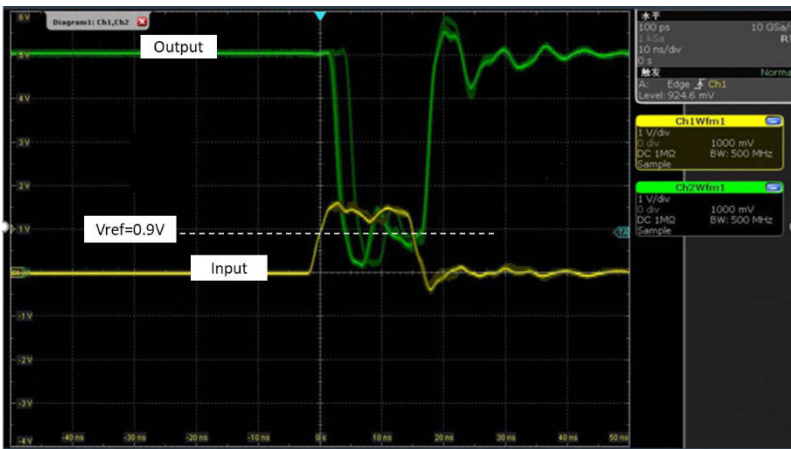


图 2-7. 不合理设置 Overdrive 和 Underdrive TLV3602 工作波形图

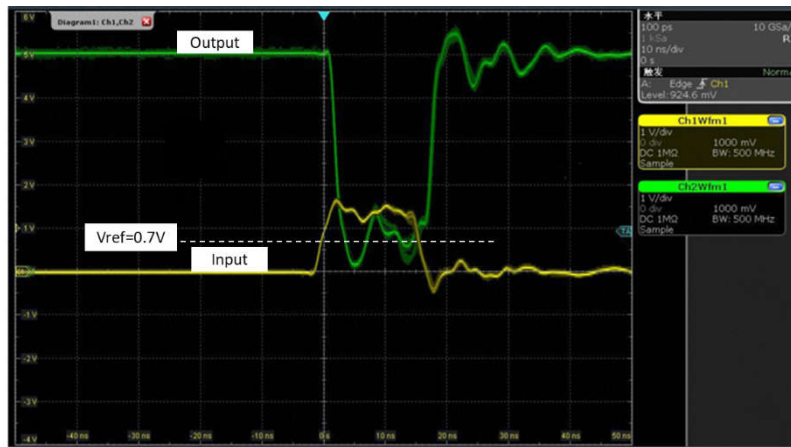


图 2-8. 优化设置 Overdrive 和 Underdrive TLV3602 工作波形图

在多通道发射系统应用中，多个通道之间的时延差异会导致通道间脉冲不同步，影响测量精度。TLV3602 器件之间时延差异会进一步恶化通道间的脉冲同步，此时可以在系统级别增加一个校准链路，系统架构如图 2-9 所示，系统上电后，各个通道同步发送第一个脉冲作为校准脉冲，FPGA 检测各个反馈链路上信号的误差作为校准量，后续的脉冲发送时刻在原来的基础上减去这个校准量。TLV3602 在进行一次常温校准后，可以获得全温下小于 100ps 的通道间时延误差，如图 2-10 所示。

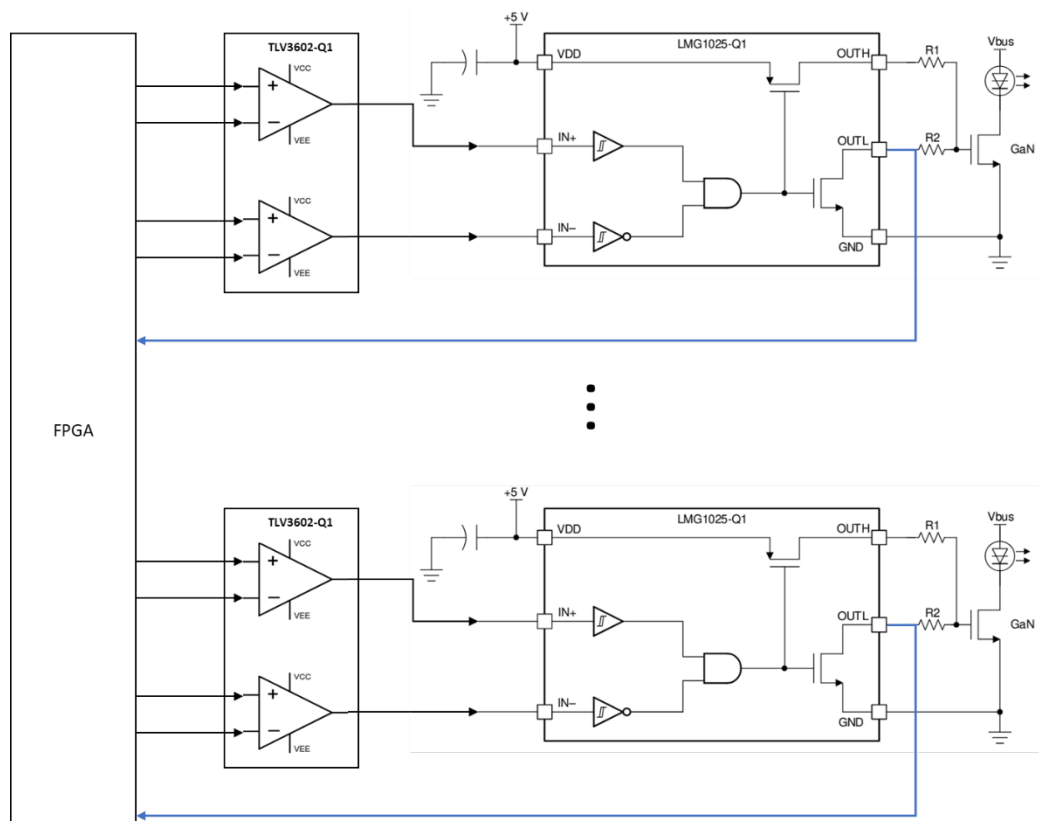


图 2-9. TLV3602 在激光雷达发射系统应用架构图

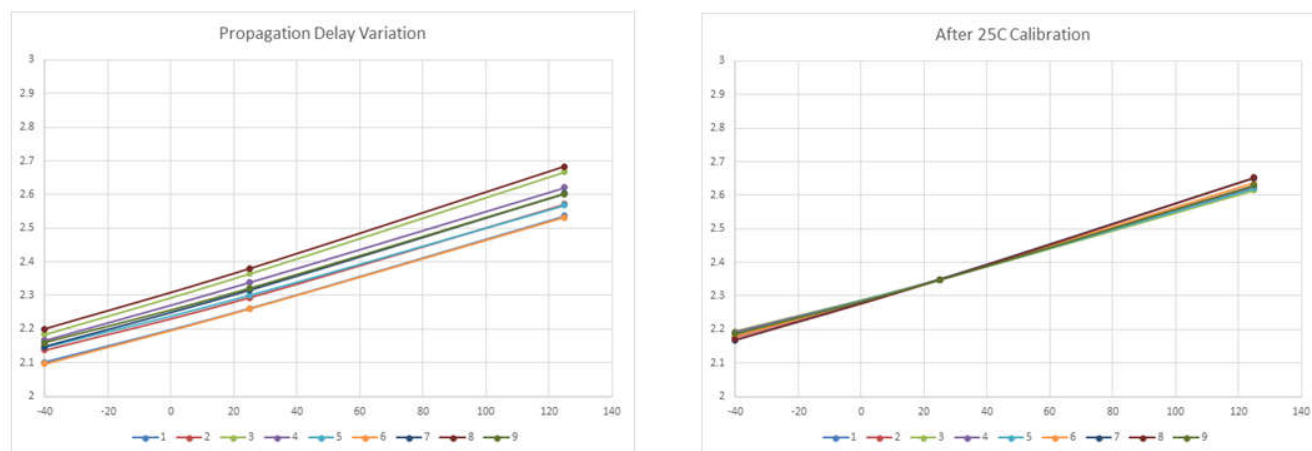


图 2-10. TLV3602 常温单点校准时延特性

3 参考文献

1. Datasheet "[TLV360x-Q1 325 MHz High-Speed Comparators with 2.5 ns Propagation Delay](#)"
2. Datasheet "[LMG1025-Q1 Automotive Low Side GaN and MOSFET Driver For High Frequency and Narrow Pulse Applications](#)"
3. Datasheet "[TLV3511 6ns High-Speed Comparator with Rail-to-Rail Input](#)"
4. Datasheet "[TLV181x-Q1 and TLV182x-Q1 Family of 40V Automotive Rail-to-Rail Input Comparators with Push-Pull or Open-Drain Output Options](#)"

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