

Alec Saebeler

LiFi 是一种基于无线通信方法的新兴技术：使用可见光传输数据。自 2011 年 LiFi 首次亮相以来，LiFi ( 也以光保真闻名 ) 成为实现双向高数据速率传输的主要光通信技术。LiFi 通常通过主要设计用于照亮空间的现有灯具或发光源实现。其高级概念是利用 LED 灯泡发出的可见光，以人类视觉无法感知的频率调制可见光，从而实现数据通信。由于提供的电源已经使光源闪烁的速度超过人的肉眼可以看到的速度，因此思路就是特意使光源闪烁来发送数据。用设定的调制方案替换与电源相关的频率可将 ( 潜在的 ) 任何标准光源变为数据传输节点。将灯具改装成高密度数据收发器的想法已经吸引了多个行业 ( 包括工业、医疗、航天、国防和通信 ) 的关注。一些制造商正在考虑将系统微型化，以便在个人电子设备上运行。无论尺寸或最终应用如何，所需的信号链元件都是一致的。

电子硬件可分为两种不同的功能：发送器和接收器电路。图 1 展示了 LiFi 实现方案中信号链的基本组成部分。

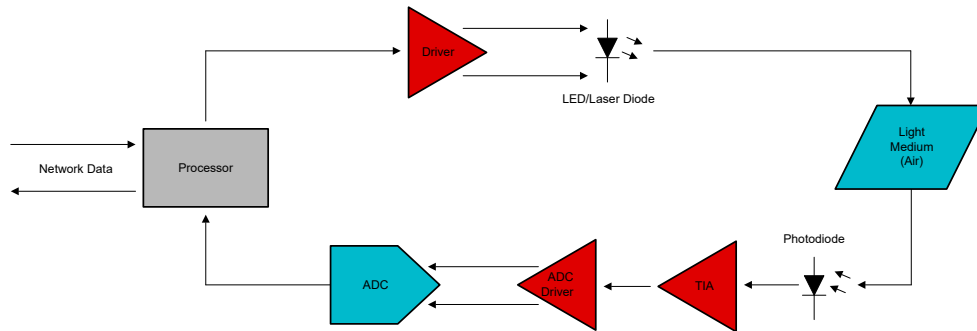


图 1. LiFi 信号链方框图

在设计具有跨阻放大器的电路时，需要注意一些重要参数：输入电容、跨阻增益 ( 由 RF 设定 ) 和 GBP。由两部分组成的 [E2E™ 设计支持博客](#) 详细介绍了跨阻电路设计的方法和解释。第二部分包括 [TIA 计算器工具](#)，用于处理与各种 TIA 参数相关的数字，包括它们如何相互影响。如需深入分析，请参阅 [高速放大器跨阻注意事项](#) 应用手册。

## RX 路径

TI 提供了许多已用于各种 TX/RX 应用的高速放大器，专为 LiFi 的发送和接收信号链而设计。

LiFi 接收路径的关键元件包括光电二极管、跨阻放大器 (TIA)、全差分放大器 (FDA) ( 可选 ) 和 ADC。各种实现或调制方案可能需要在 RX/TX 路径上使用特定滤波器。

与光探测和测距 (LiDAR) 电路类似，LiFi RX 电路也受益于 TI OPA85x 系列运算放大器的广泛适用性和功能。OPA855 和 OPA858 等跨阻放大器是高增益带宽积 (GBP) 器件，能够从光电二极管接收小信号并向 FDA 或模数转换器 (ADC) 提供放大信号。表 1 比较了 TI 专为跨阻应用设计的高速运算放大器，这种放大器提供各种输入类型、带宽和噪声，以适合各种应用。如果设计非常注重尺寸和集成，则表 2 中列出了 TI 的高速集成 TIA，它们提供了具有附加功能的单芯片解决方案，但缺点是配置较少。

除了 TIA，通常还需要在 TIA 之后使用一个全差分放大器，将单端信号转换为差分信号，以驱动差分输入 ADC。一个示例是光电二极管连接到 OPA859 跨阻放大器，后跟 THS4541 全差分放大器，用以创建驱动差分 ADC 的完整模拟前端。有关德州仪器 (TI) 的模数转换器产品和解决方案的详细信息，请访问 [ADC 产品页面](#)。通过在接收路径上放置 TIA，利用 TI 在汽车激光雷达领域的经验可提供经验证的 TIA 系列，在 RX 信号链中与光电二极管结合使用。

**表 1. 分立式 TIA 比较**

器件型号	OPA855	OPA856	OPA858	OPA859	LMH6629
输入类型	双极	双极	FET	FET	双极
VCC 最小值 (V)	3.3	3.3	3.3	3.3	2.7
VCC 最大值 (V)	5.25	5.25	5.25	5.25	5.5
Iq 25C 最大值 (mA)	19.5	19.5	24	24	16.7
GBW/BW (MHz)	8000	1200	5500	900	4000
大信号带宽 (MHz)	850	110	600	400	390
最小稳定增益 (V/V)	7	1	7	1	4
转换速率 (V/us)	2750	350	2000	1150	1600
噪声电压 (nV/√Hz)	0.98	0.9	2.5	3.3	0.69
关断/断电	是	是	是	是	是
偏置电流 (典型值) (uA)	-12	-15	+/- 0.4	+/- 0.5	-15
Vos (最大值) (mV)	+/-0.2	+/-0.2	+/- 0.8	+/- 0.9	4.1
偏移电压漂移 (uV/C)	0.5	0.7	+/- 2	-2	+/- 150
封装选项	WSON (DSG)   8 (2mm x 2mm)	WSON (DSG)   8 (2mm x 2mm)	WSON (DSG)   8 (2mm x 2mm)	WSON (DSG)   8 (2mm x 2mm)	WSON (NGQ)   8 (3mm x 3mm) SOT-23 (DBV)   5 (2.9mm x 2.8mm)[FJ1]

**表 2. 集成式 TIA 比较**

器件型号	LMH32401	LMH32404	LMH34400
总增益	2/20k Ω	20k Ω	40k Ω
TIA 增益级	1/10k Ω	10k Ω	12.2k Ω
每通道 Iq (mA)	30	28	20
GBW/BW (MHz)	450/275	350	240
输入 (pA/√Hz)	9.2/2.1	2.3	2.4
线性输入电流范围 (uA)	0 至 700/0 至 72	0 至 72	0 至 ~30
集成电流钳位	100mA 10mA 时的恢复时间为 4ns	100mA 10mA 时的恢复时间为 12ns	100mA 10mA 时的恢复时间为 18ns
关断电流 (mA)	3.3	0.6	1.5
环境光消除 (mA)	3	2.5	3
支持输出多路复用	是	是	是
通道计数	单通道	四通道	单通道
封装选项	VQFN (RGT)   16 (3mm x 3mm)	VQFN (RGT)   28 (5mm x 4mm)	SOT-5X3 (DRL)   6 (1.6mm x 1.6mm)

## TX 路径

LiFi 发射路径的关键元件包括数模转换器 (DAC)、调制电路、直流偏置 ( 可选/选择如何实现 )、激光/LED 驱动器和激光二极管/光源。与 RX 一样，TX 信号链可能也需要滤波器或附加元件才能运行。

激光和 LED 驱动器是需要进行高带宽操作和调制、具有高输出电流能力并可以驱动 LED 和激光二极管负载的元件。TI 的电流反馈放大器 (CFA) 和差分驱动器 IC 可驱动 LiFi 发射路径中的光源。OPA2675 双通道 CFA 是宽带高输出电流 IC；该器件的输出电流为  $\pm 100$  0mA。由差分输出放大器驱动的 LED 的使用情况在 VLC/LiFi 的 G.9991 ITU 标准附录 I 中有记录。LED 驱动器的选择取决于通道数、调制 LED 所需的输出驱动以及调制方案。事实证明，LiFi 的发射电路与使用曼彻斯特编码等方法调制 LED 开/关的目录放大器和晶体管一样简单。虽然这种比特率较低的方法对小数据吞吐量情况有效，但是正交频分多路复用 (OFDM) 信号的现行方法实现了高得多的数据吞吐量。根据模拟前端 (AFE) 元件和调制方案，LiFi 的 OFDM 信号可在数据吞吐量方面达到与 WiFi 相当的水平。LiFi 的发射路径通常需要考量效率和光源，例如 LED 和激光二极管的调制与功耗和电流要求。与专用 LED 驱动器或激光驱动器 IC 不同，TI 的 CFA 和线路驱动器产品系列已用于 PLC、DSL、WiFi 和 LiFi 之间共享的调制技术。有许多 TI 资源介绍了如何在有线通信系统中使用 CFA 和线路驱动器器件，在有线通信系统设计中用于验证电路性能的性能指标包括：多频功率比 (MTPR) 和带外抑制 (OOBS)。虽然通常分别与 DSL 和 PLC 相关，但 LiFi 的 MAC 和 PHY 层与有线 PHY 系统的相似之处为在 LiFi TX 中采用 TI CFA 创造了机会。对于 LiFi 设计，误码率 (BER) 和误差矢量幅度 (EVM) 已为更广泛的无线通信领域所熟知。MTPR 和 OOBS 指标通常仅用于有线系统。鉴于这种区别，本文对这些有线指标暂不予考虑，但由于 LiFi 系统的介质 ( 空气 ) 近似于光纤布线，因此可以在适用时考虑有线指标。TI 放大器最初用于 DSL 和 PLC，其数据表展示了其在最初有线应用中的相关性能。在 LiFi 中采用高速放大器可能需要知识渊博的 TI 工程师来协助进行设计：TI 的 [E2E™ 设计支持论坛](#) 提供产品系列和特定于 IC 的资源以及论坛帖子，与调查工程师的知识水平相当。TI 在模拟和数字方面拥有专业的知识，尤其是有线和无线性能指标，可帮助您解决在采用 TI CFA 和差动驱动器产品时遇到的问题。

通过使用有线通信指标 MTPR 和 OOBS 来表征 OPA2675 等 TI CFA，为测试 LiFi TX 应用中 TI 高速放大器的功能提供了一种可靠且可实现的方法。虽然仿真和计算允许测试 BER 和 EVM 的调制方案，但这些指标在考察 LiFi AFE 的模拟器件时用处不大。对 IC 进行评估无需在分析 IC 性能之前全面开发 LiFi 设置。使用 MTPR 和 OOBS 对用于 LiFi 的模拟放大器进行鉴定，对设计工程师来说受益无穷。

表 3. CFA 和线路驱动器比较

器件型号	OPA2675	THS6222
类型	线路驱动器	线路驱动器
通道数量	2	1
VCC 最小值 (V)	4.5	8
VCC 最大值 (V)	13	32
Iq 25C 最大值 (mA)	16.5	19.5
GBW/BW (MHz)	730	250
大信号带宽 (MHz)	230	190
转换速率 (V/us)	3,000	5,500
输出拉电流 (典型值) (mA)	1000	338
噪声电压 (nV/√Hz)	2.4	2.5
关断	是	是
偏置电流 (典型值) (uA)	25	1
Vos (最大值) (mV)	5	12
偏移电压漂移 (uV/C)	3	40
封装选项	VQFN   16 (3mm x 3mm)	VQFN   16 (3mm x 3mm)

随着 LiFi 不断成熟并逐步成为面向消费者和行业的产品，在设计 and 测试时可考虑使用德州仪器 (TI) 的高速放大器。许多 TI 器件采用不同的封装和通道数量；有些器件已采用裸片封装，可直接将引线键合到光电二极管。TI 的产品系列和产品支持可为如何在下一个高安全性通信系统、工业控制系统或射频干扰敏感型环境中采用 LiFi 提供指导和协助。

## 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 © 2023，德州仪器 (TI) 公司