

Application Brief

使用 LMH13000 实现激光二极管的自动功率控制



Anant Sinha, Jyothi Sanganna, Shreenidhi Patil

激光驱动系统中的自动功率控制 (APC) 旨在通过持续调节激光器的光输出功率，实现稳定高效的激光操作。温度的波动、老化效应以及外部条件的变化可能会导致激光性能不稳定。APC 使用反馈机制根据光电二极管的反馈动态调整激光器的驱动电流，以保持一致的光输出。这可以在需要精确控制光输出的应用中提高可靠性并提升性能。

本文介绍了激光系统中自动电源控制 (APC) 环路的设计和实施，该环路使用 LMH13000 来驱动激光二极管。

系统概述

该设置使用激光二极管，该二极管具有集成的背面光电二极管用于提供反馈。背面二极管通常是指光电二极管或集成传感器，用于监测从激光二极管背面发射的光，并且通常是激光发出的总光量的一小部分。这一小部分的光被光电二极管感应到，产生与激光的光输出成比例的电流 (I_{PD})。电流转换为电压并使用误差放大器 (此处为 TLV9001) 与基准电压 (V_{REF}) 进行比较。该误差信号也称为误差放大器的输出，会反馈到激光驱动器 LMH13000，以便将激光输出调整为所设定的光功率。

系统中的反馈机制可抵消来自所需状态的任何偏差，减少误差，并通过阻止激光输出光强度变化的反馈信号来保持稳定性。

该系统支持 DC 和脉冲激光操作。下一节说明如何在这两种情况下实现 APC。

DC 操作

顾名思义，在 DC 工作模式下，激光输出为恒定直流，APC 系统可确保输出功率保持在设定的直流电平，并且不会偏离。为了实现这一点，系统会持续监控激光的光功率，并不断将此信号反馈回激光驱动器。图 1 显示为了实现 APC 所需的负反馈环路，激光驱动器、激光二极管、背面二极管和误差放大器之间的连接。

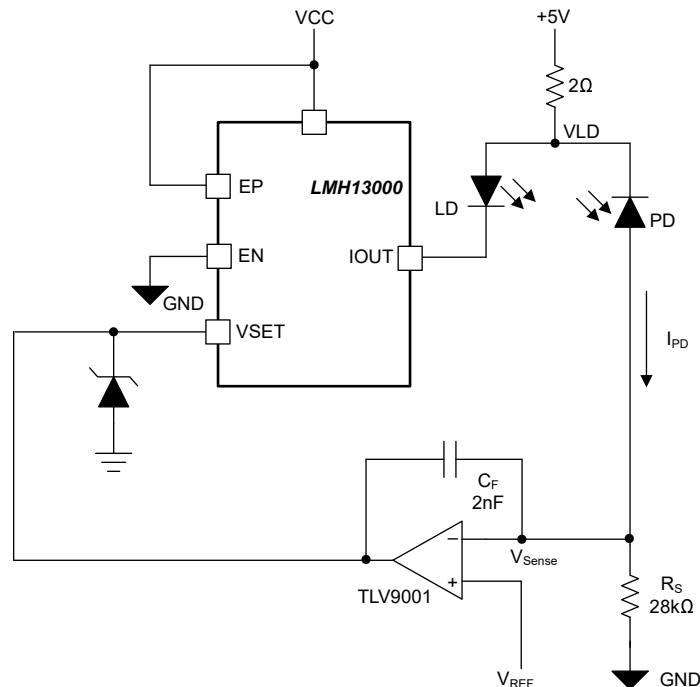


图 1. 直流操作方框图

要设置激光的特定输出功率，我们需要背面二极管 (I_{PD}) 的光电二极管电流与激光光功率 (P_O) 之间的关系。该关系可在激光二极管的数据表找到。利用该知识设置 V_{REF} 引脚上的电压，计算公式如下：

$$V_{REF(set)} = I_{PD(at\ desired\ optical\ power)} \times R_{Sense} \quad (1)$$

如果 I_{PD} 和 P_O 之间的关系未知，可以通过向激光二极管施加适当的电流 (I_{OUT}) 来推导这一关系，从而产生所需的光功率 (P_O)，然后通过光电二极管测量 I_{PD} 。

激光数据表通常会说明激光电流和光功率之间的关系。

误差放大器会将反馈信号与 V_{REF} 信号进行比较，以设置在 $VSET$ 的电压，实现所需的光输出。放大器会根据两者之间的差值（误差）调整输出电压 ($VSET$)，以使 V_{Sense} 电压接近 V_{REF} 电压。当误差放大器调节 $VSET$ 时，LMH13000 会相应地通过激光器调节输出电流。

激光电流的调整会使 I_{PD} 和光输出功率恢复到设定值。这种调节激光器驱动电流的反馈机制可确保在直流操作中实现一致的光输出。

脉冲激光操作

用于脉冲激光操作的 APC 环路的功能与上一节中所述的 DC 模式类似。但是，要启用脉冲输出，需要对系统进行两处修改：

- 这是一种在激光脉冲期间临时打开控制环路的机制，通过添加 2:1 多路复用开关 (SPDT) S1 来实现
- 一个在环路打开时保留 $VSET$ 值的存储器元素。这可以通过添加 C1 来实现

这些增强功能可确保当驱动电流降至零时，系统不会在脉冲操作期间尝试补偿激光关闭期间的误差。

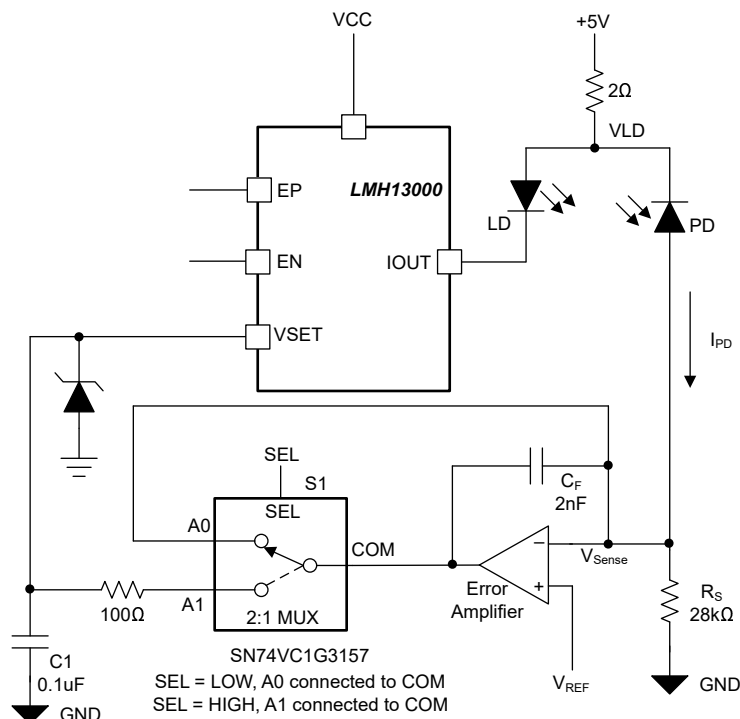


图 2. 脉冲激光操作方框图

要将激光器配置为所需的光功率峰值，请关闭开关 S1，将 COM 连接到 A1 以启动 APC 环路，如 图 2 中所示。此操作会启用光学反馈路径，将 EP 引脚拉高会启用 LMH13000 输出。在此阶段，系统作为传统 APC 环路运行，类似于之前所述的 DC 模式。电容器 C1 根据脉冲操作所需，充电至适当的 VSET 电压。

要转换到脉冲模式，可通过切换开关 S1 将 COM 连接到 A0 来打开反馈环路。在此配置中，将 TLV9001 与 LMH13000 断开，从而有效地断开反馈路径。TLV9001 环路在局部闭合，现在用作缓冲器，以防止输出在电源轨饱和。在反馈环路断开的情况下，系统在此期间不会再尝试调节电流或光功率偏差。

这可确保在脉冲模式的激光关闭期间（驱动电流降至零时），控制环路不会错误地响应光输出的缺失。通过向 EP/EN 引脚施加信号来实现脉冲。电容器 C1 的电压决定了每个脉冲期间的峰值电流。由于在开关 S1 保持开路时 C1 会持续充电，因此可以继续提供必要的 VSET。此序列会周期性重复，以保持对激光光功率峰值的一致控制。

实验室结果

该实验将激光二极管（此处为 PLT5 518FB_P）配置为在室温下提供 32mW 的光输出功率。根据激光器的数据表 Po 与 If 图（请参阅光输出功率部分的[光输出功率](#)），这对应于大约为 85mA 的正向驱动电流。

为了确定相应的光电二极管电流 (I_{PD})，使用 85mA 驱动激光并测量得到的 I_{PD} 为 2.5 μA 。根据 28k Ω 的互阻抗增益，所需基准电压 (V_{REF}) 的计算公式如下：

$$V_{REF} = I_{PD} \times R_{Sense} = 2.5 \mu A \times 28k \Omega = 70mV$$

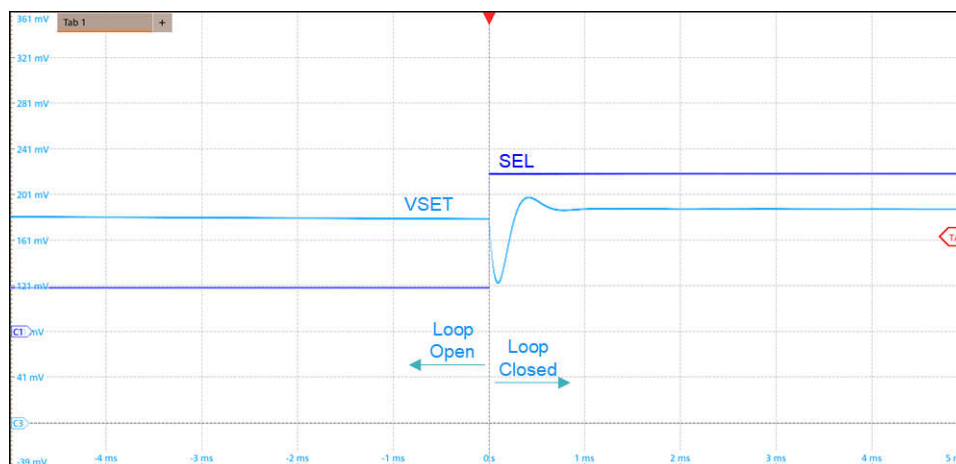
一旦将 V_{REF} 设置为 70mV，APC 环路会将激光电流稳定在 85mA 处，确保维持所需的光输出。

图 3 和图 4 展示了系统在 SPDT 开关和脉冲操作期间的动态响应。

图 3 展示了环路闭合后误差放大器设置的 VSET 电压。对于 85mA 的设定 IOUT 电流，VSET 稳定在 171mV。该电压符合 LMH13000 的 IOUT 与 VSET 关系 (有关更多详细信息，请参阅器件数据表：[LMH13000 高速脉冲和连续输出电流驱动器](#))

图 4 演示了向脉冲操作模式的转换。在 $t = -40 \mu\text{s}$ 时，SEL 信号切换以开环。电容器 C1 可保留电荷，从而保持 VSET 电压。可以在 VSET 图中看到这是平坦的线路。在此期间，激光电流保持 85mA，这可以通过 VLD 电压确认，该电压比 5V 激光电源低 170mV ($85\text{mA} \times 2 \Omega$)。

在 $t = 0\text{s}$ 时，向 EP 引脚施加脉冲信号并持续 10 个周期，通过激光产生电流脉冲。这些脉冲在 VLD 节点 (激光器的阳极) 上表现为由 2Ω 电阻器上的 IR 压降产生的电压脉冲信号。



$I_{\text{OUT}} = 85\text{mA}$, $V_{\text{REF}} = 70\text{mV}$, LMH13000 MODE = 0

图 3. 输出波形：放大的正向 SEL 转换

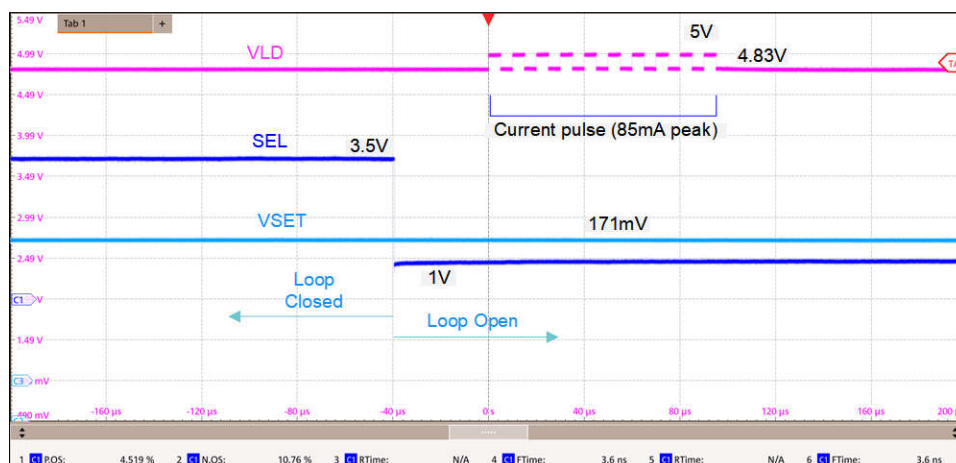


图 4. 脉冲操作期间的输出波形

设计中需要考虑的参数

选择电容器 C1 的值

在脉冲操作期间，当自动功率控制 (APC) 环路断开时，电容器 C1 会存储在 LMH13000 的 VSET 引脚处生成设定电压所需的电荷。该电容器的任何电荷泄漏都会导致电容器上的电压下降，这会在脉冲运行期间直接导致设定电流误差。

主要漏电路径包括齐纳二极管的漏电流、多路复用器输入/输出引脚的漏电流和 VSET 偏置电流漏电流

由于存在总漏电流 I_{Leak} ，C1 两端的电压会随着时间的推移而下降，值 ΔV 可以通过以下公式计算：

$$\Delta V = \left(\frac{I_{Leak}}{C1} \right) \times \Delta t \quad (2)$$

$$I_{Leak} = I_{Leak}(VSET) + I_{Leak}(Zener) + I_{Leak}(Mux) \quad (3)$$

Δt = 环路保持开环的时间

为了防止该误差影响设定电流，系统必须在电压下降到超过可接受误差范围之前定期闭合环路，并为电容器 C1 充电。

选择齐纳钳位二极管

LMH13000 中 VSET 引脚的绝对最大额定值为 2.5V。施加高于该限值的电压可能会对器件造成永久损坏。例如，如果误差放大器变得不稳定，使输出摆动至正电源轨电源，导致放大器电源电压超过 2.5V，就会发生这种情况。

可通过以下任一方式防止出现这种情况：

1. 选择工作电压低于 2.5V 的放大器，或者
2. 在 VSET 引脚上放置一个击穿电压低于 2.5V 的齐纳二极管钳位。

该钳位可确保 VSET 引脚电压不会超过最大额定电压。例如，TLV9001 可在 1.8V 至 5.5V 的电压范围内工作，因此，如果在低于 2.5V 的电压下运行，则不需要齐纳二极管。

如果使用齐纳二极管，请确保二极管存在低反向漏电流，因为高漏电流可能会更快地耗尽电容器 C1 上的电荷，导致引入如前所述的误差。

选择 C_F

将电容器 C_F 放置在误差放大器的本地反馈路径中，以改善稳定性和瞬态响应。该电容器与电阻器 R_S 相结合，在反馈环路中引入一个极点，这会增加相位裕度，从而帮助防止振荡或振铃。精确选择 C_F 的值，以平衡稳定性和带宽性能。

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

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 © 2025，德州仪器 (TI) 公司

最后更新日期：2025 年 10 月