

电信系统中的TEC 控制器应用

Yajung Tu
产品应用工程师
ADI公司

in 分享至LinkedIn

✉ 电子邮件

简介

在光纤电信系统中，激光二极管用作发送信号的发射激光器，以及掺铒光纤放大器(EDFA)和半导体光放大器(SOA)的泵激光器。在这些应用中，激光器的特性(包括波长、平均光功率、效率和消光比)必须保持稳定以确保电信系统的整体性能良好。然而，这些特性取决于激光器的温度：只要温度发生漂移，波长就会改变，转换效率将会降低。要求的温度稳定性介于 $\pm 0.001^{\circ}\text{C}$ 至 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ，具体数值视应用而定。

为了控制温度，需要一个由热敏电阻、热电冷却器(TEC)和TEC控制器组成的环路。热敏电阻的阻值与温度成比例变化(反比或正比，取决于热敏电阻类型)，当配置为分压器时，可利用它来将温度转换为电压。TEC控制器将该反馈电压与代表目标温度的基准电压进行比较，然后控制流经TEC的电流，从而调整TEC传输的热量。

上述系统的一般框图如图1所示。激光二极管、TEC和热敏电阻位于激光模块内部。TEC控制器ADN8833或ADN8834读取热敏电阻的反馈电压，并向TEC提供驱动电压。使用微控制器监测和控制热环路。注意，热环路也可以在模拟电路中构建。ADN8834内置两个零漂移斩波放大器，可将其用作PID补偿器。

本文将说明电信系统中激光二极管热控制系统的组成，并介绍主要器件的关键规格。本文的目的是从系统角度阐述各项设计考虑，为设计人员构建一个具有良好温度控制精度、低损耗、小尺寸的高性能系统提供全局性指南。

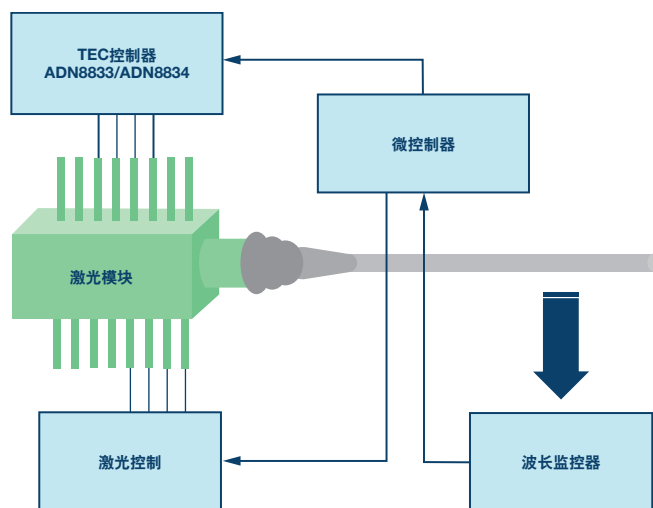


图1. 激光模块的温度控制系统

TEC：热电冷却技术

热电冷却器包括两片表面陶瓷板，其间交替放置P型和N型半导体阵列，如图2所示。

当电流流经这些导体时，热量将在一端吸收并在另一端释放；当电流方向相反时，热传输也会反向。该过程称为珀尔帖效应。N型半导体中的载流子是电子，因此，其载流子和热量从阳极流向阴极。对面的N型半导体具有空穴载流子，热量也沿相反方向流动。

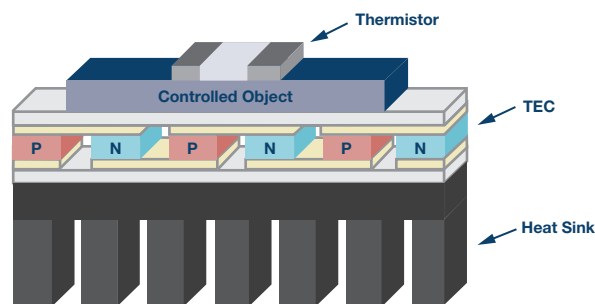


图2. 带散热器的TEC模块

取一对P-N半导体对，用金属板将其连接起来，如图3所示；当电流流过时，热量将沿一个方向传输。

改变直流电压的极性可改变热传输方向，传输的热量与电压幅度成比例。由于既简单又鲁棒，热电冷却被广泛用于电信系统的热调理。

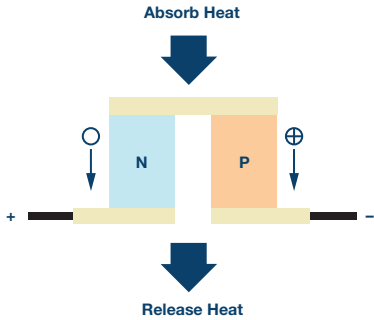


图3. 珀尔帖效应：P-N半导体对的热流

选择TEC模块

选择TEC模块时，需要考虑系统中的许多因素，如环境温度、对象目标温度、热负荷、电源电压和模块的物理特性等。必须认真评估热负荷，确保所选TEC模块有足够的容量来将热量从系统泵出以维持目标温度。TEC模块制造商在数据手册中通常会提供两条性能曲线。一条曲线显示电源电压范围内不同温差(ΔT)下的热传输容量，另一条曲线显示电源电压和 ΔT 的不同组合所需要的冷却/加热电流。设计人员可以估计模块的功率容量，确定它能否满足特定应用需要。

TEC控制器操作和系统设计

为了利用TEC补偿温度，TEC控制器应根据反馈误差产生可逆差分电压，并提供适当的电压和电流限值。图4为ADN8834的简化系统框图。主要功能模块包括温度检测电路、误差放大器、补偿器、TEC电压/电流检测和限值电路、差分电压驱动器。

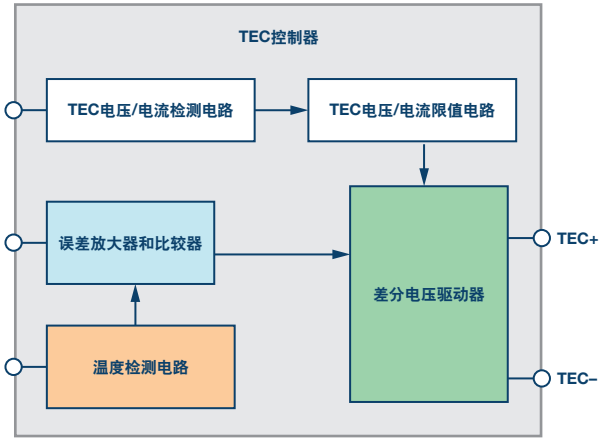


图4. 单芯片TEC控制器ADN8834功能框图

差分电压驱动器

TEC控制器输出一个差分电压，使得通过TEC的电流可以带走连接到TEC的对象的热量，或者平稳地变为相反极性以加热该对象。电压驱动器可以是线性模式、开关模式或混合电桥。线性模式驱动器更简单且更小，但效率不佳。开关模式驱动器具有

良好的效率——高达90%以上——但输出端需要额外的滤波电感和电容。ADN8833和ADN8834使用混合配置，含有一个线性驱动器和一个开关模式驱动器，体积较大滤波元件的数量减半，同时能够保持高效率性能。

电压驱动器设计对控制器至关重要，因为它占用了大部分功耗和电路板空间。优化的驱动器级有助于最大程度地缩减功率损耗、电路尺寸、散热器需求和成本。

利用NTC热敏电阻检测温度

图5显示了负温度系数(NTC)热敏电阻在温度范围内的阻抗。由于它与温度具有相关性，因此可将其连接为分压器，从而将温度转换为电压。典型连接如图6所示。当RTH随温度而变化时，VFB也会变化。增加一个Rx与热敏电阻串联，便可相对于 V_{REF} 将温度电压传递函数线性化，如图7所示。必须将其与模块壳内部的激光器紧密耦合，隔绝外部温度波动影响，使其能精确检测温度。

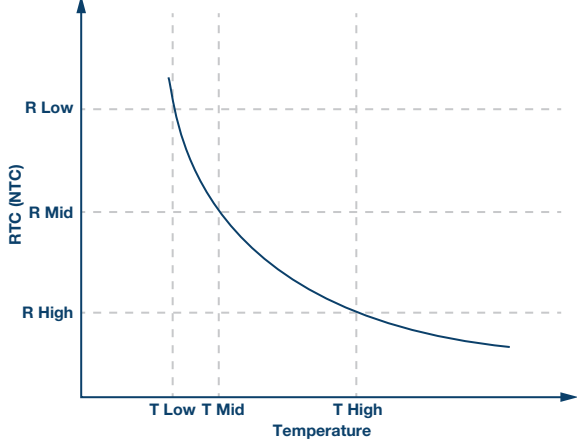


图5. NTC阻抗与温度的关系曲线

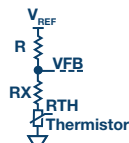


图6. NTC热敏电阻连接为分压器以将温度转换为电压.

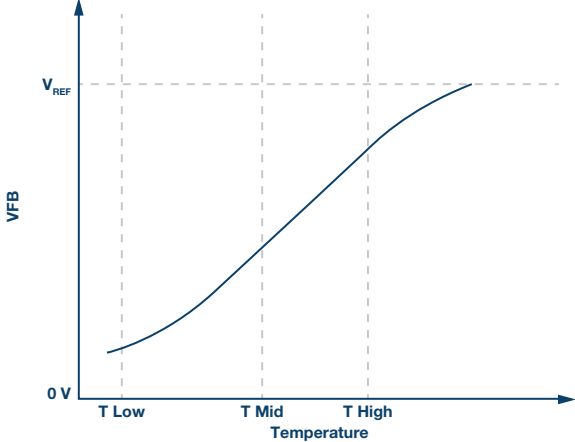


图7. V_{FB} 与温度的关系

误差放大器和比较器

模拟热反馈环路包括两级，由两个放大器构成，如图8所示。第一个放大器接受热反馈电压(VFB)，将该输入转换或调节为线性电压输出。此电压代表对象温度，馈入补偿放大器中，与温度设定电压进行比较，产生一个与二者之差成比例的误差电压。第二个放大器通常用来构建一个PID补偿器，后者包括一个极低频率极点、两个不同的较高频率零点和两个高频极点，如图8所示。

PID补偿器可通过数学方法或经验方法确定。要从数学上模拟热环路，需要TEC、激光二极管、连接器和散热器的精确热时间常数，这不太容易获得。利用经验方法调谐补偿器更为常见。通过假定温度设定端具有某个阶跃函数并改变目标温度，设计人员可以调整补偿网络，使TEC温度的建立时间最短。

激进补偿器会对热扰动快速作出反应，但也很容易变得不稳定，而保守补偿器建立得较慢，但能耐受热扰动，发生过冲的可能性更小。系统稳定性和响应时间之间必须达到平衡。

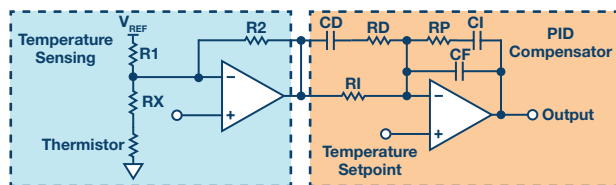


图8. 使用ADN8834内部两个斩波放大器的热反馈环路图

TEC控制器系统的关键性能

TEC控制器系统的关键性能

有时候，即便PID补偿器设计得当，稳态误差仍会存在。下面是引起该误差的几个因素。

- ▶ **TEC热功率预算：**设计该系统时，TEC和电源电压是最先选定的事情。然而，由于热负荷不容易估计，选择可能不正确。某些情况下，若将最大功率应用于TEC但仍不能达到目标温度，可能意味着热功率预算不足以处理热负荷。提高电源电压或挑选具有更高功率额定值的TEC可解决这个问题。
- ▶ **基准电压源一致性：**基准电压源会随温度和时间而漂移，对于闭合热环路，这通常不是问题。但是，尤其是在数字控制系统中，TEC控制器和微控制器的基准电压源可能有不同的漂移，引起补偿器不会察觉的误差。建议这两个电路采用相同的基准源，用具有较高驱动能力的电压覆盖另一电压。
- ▶ **温度检测：**为使温度误差最小，精确检测负载温度非常重要。任何来自反馈的误差都会进入系统，补偿器同样不能纠正这种误差。使用高精度热敏电阻和自稳零放大器可避免误差。热敏电阻的布置也很重要。确保将它安装到激光器上，以便能够读取我们要控制的实际温度。

效率

TEC控制器的大部分功耗是由驱动器级消耗的。在ADN8833/ADN8834中，线性驱动器的功耗可根据输入至输出压降和负载电流直接得出。开关模式驱动器的损耗较为复杂，大致可分解为三部分：传导损耗、开关损耗和转换损耗。传导损耗与FET的 $R_{DS(on)}$ 和滤波电感的直流电阻成比例。选择低电阻元件可降低传导损耗。开关损耗和转换损耗高度依赖于开关频率。频率越高，损耗越高，但无源元件尺寸可减小。为实现最优设计，必须仔细权衡效率与空间。

噪声和纹波

ADN8833/ADN8834中的开关模式驱动器以2 MHz频率切换，快速PWM开关时钟沿包含很宽的频谱，会在TEC端产生电压纹波，并且在整个系统中产生噪声。增加适当的去耦和纹波抑制电容可降低噪声和纹波。

对于开关模式电源常用的降压拓扑，电源电压轨上的纹波主要由PWM FET斩波的断续电流所引起。并联使用多个SMT陶瓷电容可降低ESR（等效串联电阻）并在局部给电源电压去耦。在开关模式驱动器输出节点，电压纹波由滤波电感的电流纹波引起。为抑制此纹波，应在驱动器输出端到地之间并联使用多个SMT陶瓷电容。纹波电压主要由电容ESR与电感纹波电流的乘积决定： $\Delta V_{TEC} = ESR \times \Delta I_L$ 并联使用多个电容可有效降低等效ESR。

结论

设计电信系统中激光二极管的TEC控制器系统是一项很复杂的工作。除了热精度方面的挑战之外，封装尺寸通常非常小，功耗容差也很低。一般而言，设计精良的TEC控制器应具备如下优点：

- ▶ 精准温度调节
- ▶ 高效率
- ▶ 板尺寸很小
- ▶ 低噪声
- ▶ 电流和电压监控与保护

作者简介

Yajung Tu拥有电气工程硕士学位，目前在ADI公司电源管理部担任应用工程师。她的专业领域是热电冷却控制器。

在线支持社区

访问ADI在线支持社区，与ADI技术专家互动。提出您的棘手设计问题、浏览常见问题解答，或参与讨论。

ezchina.analog.com



全球总部
One Technology Way
P.O. Box 9106, Norwood, MA
02062-9106 U.S.A.
Tel: (1 781) 329 4700
Fax: (1 781) 461 3113

大中华区总部
上海市浦东新区张江高科技园区
祖冲之路 2290 号展想广场 5 楼
邮编: 201203
电话: (86 21) 2320 8000
传真: (86 21) 2320 8222

深圳分公司
深圳市福田中心区
益田路与福华三路交汇处
深圳国际商会中心
4205-4210 室
邮编: 518048
电话: (86 755) 8202 3200
传真: (86 755) 8202 3222

北京分公司
北京市海淀区
上地东路 5-2 号
京蒙高科大厦 5 层
邮编: 100085
电话: (86 10) 5987 1000
传真: (86 10) 6298 3574

武汉分公司
湖北省武汉市东湖高新区
珞瑜路 889 号光谷国际广场
写字楼 B 座 2403-2405 室
邮编: 430073
电话: (86 27) 8715 9968
传真: (86 27) 8715 9931

©2016 Analog Devices, Inc. All rights reserved. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners. Ahead of What's Possible is a trademark of Analog Devices. TA14144sc-0-6/16

analog.com/cn

