

Application Note
现场测量 LDO 的热阻抗



Maxwell Robertson

LP Linear Regulators

摘要

本文档介绍了使用集成电路的热关断温度来计算其结温至环境温度热阻抗的流程。

内容

1 简介.....2

2 过程.....2

3 结语.....3

4 修订历史记录.....4

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 简介

器件的结温至环境温度热阻抗 ($R_{\theta JA}$) 是热性能的行业标准度量。它定义了器件消耗的功率与由此产生的热量之间的线性关系。对于给定的环境工作温度，热阻抗可用于确定能否将器件的结温作为其功率耗散的函数。因此，在设计稳健的系统时，必须了解这一重要参数。

但是，了解器件的热阻抗并不像在数据表中查找热阻抗值那么简单。尽管半导体制造商通常会提供热阻抗值，但该值来自在行业标准测试板上进行的测量。由于器件的热性能在很大程度上取决于在其上安装该器件的电路板的特性，因此不能假定数据表中这些热阻抗规格在所有电路板设计中都有效。确定应用板上所安装器件的热阻抗的最佳方法是测量器件热阻抗。

本应用报告重点评估低压降线性稳压器 (LDO) 的热性能，所述流程也适用于可控制功率耗散的任何器件。之所以选择 LDO 作为示例是因为我们可以轻松计算其功率，并且由于其耗散特性要求在每个设计中都考虑热特性。

2 过程

本节介绍了一种简单方法，用于确定安装在电路板上的 LDO 稳压器的结温至环境温度热阻抗。请注意，此方法要求 LDO 具有热关断功能。由于此功能并非总是包含，因此在继续操作之前，必须检查相关器件的数据表。采用此方法时，还需要借助某种方式来调节环境温度 (T_A) 和器件中耗散的功率 (P_D)。

器件的结温 (T_J) 由以下公式计算得出：

$$T_J = T_A + R_{\theta JA} \times P_D \quad (1)$$

要使用此公式确定 $R_{\theta JA}$ ，必须知道所有其他参数 (T_A 、 P_D 和 T_J)。可以通过温度计轻松测量环境温度，并可以轻松计算出 LDO 中耗散的功率。但是，无法直接测量出结温。

由于无法测量出结温，因此必须从公式中删除此参数。可以通过巧妙利用器件的热关断温度 (T_{SD}) 来实现此目的。通过选择两组会导致热关断的运行条件，可以确定器件的热阻抗。在这种情况下，运行条件的变化因素包括功率耗散和环境温度。

首先，选择一个合适的功率耗散水平。对于 LDO，可以通过以下公式计算得出：

$$P_D = (V_{in} - V_{out}) \times I_{out} + V_{in} \times I_q \quad (2)$$

请注意，LDO 的静态电流 (I_q ，也称为接地电流) 通常很小，在功率计算中可以忽略不计。因此，耗散的功率可以很容易地随输入电压、输出电压或输出电流而变化。

接下来，增加环境温度，直至达到热关断温度。这通常意味着内部通道元件已关闭，进而导致 LDO 的输出电压接近 0V。在这种情况下，LDO 就不再消耗功率，其结温会降低到足以重新开启。由于可能在导通和关断状态之间来回循环，因此最好通过监控示波器上的输出电压随时间变化的情况来检测热关断。另外，请记住，温度通常变化缓慢；应在环境设定点递增后留出足够的时间以达到热平衡。达到热关断温度后，让器件冷却，并确保其仍可正常运行。

选择另一个功率耗散水平并重复前面的流程，以确定器件关断所需的新环境温度水平。知道两组运行条件后，就可以使用以下方法来计算热阻抗：

$$\begin{aligned} \text{First measurement: } T_J' &= T_A' + R_{\theta JA} \times P_D' \\ \text{Second measurement: } T_J'' &= T_A'' + R_{\theta JA} \times P_D'' \end{aligned} \quad (3)$$

因为在这两种情况下都达到了热关断温度，

$$T_J' = T_J'' = T_{SD} \quad (4)$$

因此，

$$T_A' + R_{\theta JA} \times P_D' = T_A'' + R_{\theta JA} \times P_D'' \quad (5)$$

可以重写该公式来定义热阻抗：

$$R_{\theta JA} = \frac{T_A' - T_A''}{P_D'' - P_D'} \quad (6)$$

执行此流程时，请记住一些额外事项：

- 通常可以通过选择 0W 的初始功率耗散来简化计算。这样还可以测量器件的关断温度。
- 器件必须在初始启动温度下达到热平衡，然后才能继续加热至 T_A' 或 T_A'' 。对于较小的 PCB (如德州仪器 (TI) EVM)，建议在初始温度和负载下停留 30 分钟。对于较大的电路板或系统，可能需要更长的停留时间。
- 以远低于被测电路板热时间常数的速率增加环境温度。例如，德州仪器 (TI) 在内部以大约 1°C/分钟的速度加热 EVM。以至少为 0.1°C 的分辨率记录关断温度，以便于准确计算。
- 电流限制等器件特性会导致实际功率耗散小于所需值，因此建议通过测量输入电压、输出电压和输出电流来仔细检查功率耗散。
- 热阻抗还会随器件上的空气流量而显著变化。为完成保守测量，应确保测试期间的空气流量小于正常运行期间的预期空气流量。

3 结语

器件的热行为取决于应用板的属性，因此数据表中的热阻抗规格不足以用来预测所有设计中的热行为。好消息是，可以通过一种简单的方法来测量安装在应用板上的器件的热阻抗。工程师可以按照本文档中所述的方法准确地确定器件在各种运行条件下的结温。

4 修订历史记录

Changes from Revision * (July 2010) to Revision A (May 2025)	Page
• 更新了整个文档中的表格、图和交叉参考的编号格式.....	1
• 更新了 <i>流程</i> 主题，使测量流程更加清晰.....	2

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、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。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
版权所有 © 2025，德州仪器 (TI) 公司