

Application Brief

使用 TI 高侧开关控制器实现远程温度检测和保护



Swarna Sagar, Rakesh Panguloori

系统简介

为了满足严格的排放目标，人们对车辆电气化的需求不断增长，汽车制造商采用了双 48V/12V 电池系统。这种电池系统支持工程师将空调压缩机、电动助力转向等所有高功耗负载转到由 48V 电池供电，而 12V 电池继续为照明、信息娱乐等其余负载供电。图 1 是 48V/12V 电池系统的典型方框图，其中高侧开关控制器驱动外部 MOSFET，用作电池断开开关和电路断路器。这些系统设计包括直流/直流转换器、电池管理系统和配电箱等，均在双电池系统中运行。

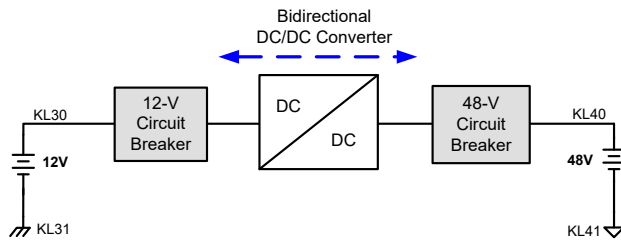


图 1. 电动汽车中双向 48V 至 12V 系统的方框图

在此类大功率设计中，驱动外部功率 MOSFET 时，电源设计工程师的主要考虑因素之一是确保强大的热保护，以防止过热和热失控。因此，精确的温度检测 and 过热保护至关重要。本应用简报介绍了使用 TI 智能高侧开关控制器实现远程温度检测和保护的设计注意事项。

TPS4811x-Q1 和 TPS1211x-Q1 是 TI 的智能高侧开关控制器，具有保护和诊断功能。这些器件集成了远程温度检测、保护及专用故障输出功能。远程温度测量使用采用二极管配置的外部晶体管来完成，如图 2 所示。

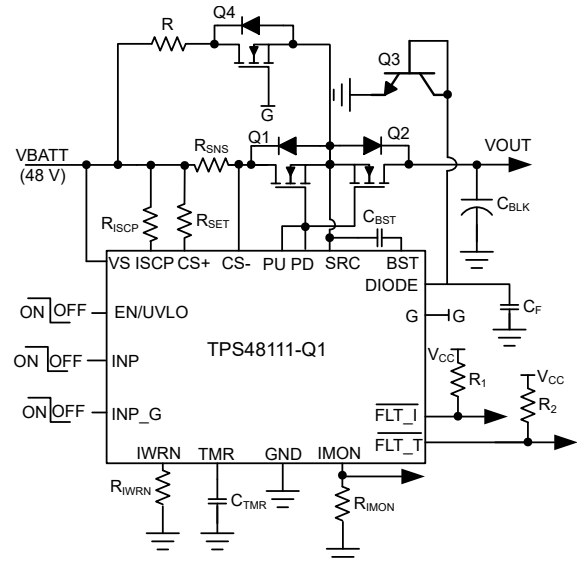


图 2. 用于直流/直流转换器的断路器

基于二极管的远程温度检测

一个常见的方法是使用外部 NPN 双极结型晶体管 (BJT) 作为远程温度检测元件。NPN 晶体管以二极管模式连接，以便支持通过基极发射极正向电压估算器件或 PCB 的外壳温度。标准 Ebers-Moll 模型提供了集电极电流的简化公式，如方程式 1 所示。

$$I_C = I_S \times e\left(\frac{V_{BE}}{\eta \times V_T}\right) \quad (1)$$

$$V_T = \frac{kT}{q} \quad (2)$$

其中

- I_C 是集电极电流
- I_S 是反向饱和电流
- V_{BE} 是基极发射极正向压降
- V_T 是热电压
- T 是以开尔文度为单位的晶体管温度
- η 是理想因数 (η 因数)，因制造商而异
- k 是玻尔兹曼常数 (1.38×10^{-23} J/Kelvin)
- q 是电子的电荷 (1.602×10^{-19} C)
- k/q 是常数 (8.61423×10^{-5})

求解可得出温度，结果为 [方程式 3](#)

$$T = \frac{q \times V_{BE}}{\eta \times k \times \ln\left(\frac{I_2}{I_1}\right)} \quad (3)$$

由于 η 因数、 k 和 I_S 都是常数，测量温度的直接方法是施加集电极电流、测量电压，然后相应地计算温度。然而，反向饱和电流会因工艺而异，且变化范围较大，对温度测量的准确性有显著影响。为了克服这些缺点，两电流差分法逐渐流行。此方法使用两个不同的电流，温度通过两次二极管电压 (V_{BE}) 值的差值来确定，如 [方程式 6](#) 所示。

$$\Delta V_{BE} = V_{BE2} - V_{BE1} \quad (4)$$

$$\Delta V_{BE} = \frac{\eta k T}{q} \ln\left(\frac{I_2}{I_S}\right) - \frac{\eta k T}{q} \ln\left(\frac{I_1}{I_S}\right) = \frac{\eta k T}{q} \ln\left(\frac{I_2}{I_1}\right) \quad (5)$$

$$T = \frac{q \times \Delta V_{BE}}{\eta \times k \times \ln\left(\frac{I_2}{I_1}\right)} \quad (6)$$

通过保持精确的电流比 (I_2/I_1)，该方法消除了反向饱和电流 (I_S) 的工艺变化影响，确保了温度测量仅依赖于 η 因数。与 I_S 相比， η 因数相对稳定，可从晶体管制造商处获得。

使用 TI 高侧开关控制器实现过热保护

TPS4811x-Q1/TPS1211x-Q1 控制器通过向外部晶体管施加两个不同的电流 $10 \mu A(I_1)$ 和 $160 \mu A(I_2)$ ，测量 V_{BE} 电压的变化 (ΔV_{BE}) 来检测过热，并在任何故障条件下触发热关断以关闭外部 MOSFET。该器件还具有专用的故障引脚 (FLT_T)，当检测到过热故障时，该引脚会拉低。TPS4811x-Q1 中基于二极管的远程温度检测方案的简化方框图如 [图 3](#) 所示。

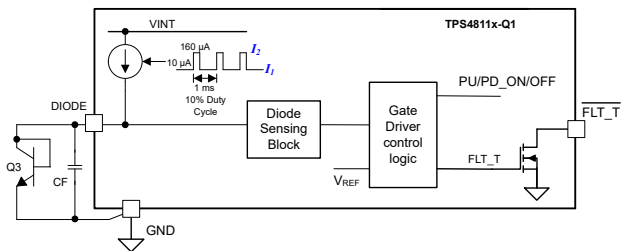


图 3. TPS4811x-Q1 中基于二极管的远程温度检测

随着 PCB 温度的升高， ΔV_{BE} 相应增加；在 $150^\circ C$ 时， ΔV_{BE} 接近 $101.5mV$ ，这是 TPS4811x-Q1 触发热保护的内部阈值。图 4 显示了过热保护方案的时序图。

- 在 TPS48110-Q1 中，一旦检测到温度达到大约 $150^\circ C$ ，器件就会将栅极驱动器下拉电阻 (PD) 拉至 MOSFET 的源极 (SRC)，关闭外部 MOSFET 并将

FLT_T 拉低。当温度降至 $135^\circ C$ 后，器件会启动一个 $512ms$ 的内部固定自动重试周期。在 $512ms$ 重试周期结束后，器件将导通外部 MOSFET，并将 FLT_T 取消置位。

- 在 TPS48111-Q1 中，一旦检测到温度超过 $150^\circ C$ ，器件便会关断外部 FET，并保持锁存状态。可以通过将 $V_{EN/UVLO}$ 切换至低于 $V_{(ENF)}$ ，或者对 V_S 进行上电下电使其低于 $V_{(VS_PORF)}$ 来使锁存复位。

图 5 和图 6 展示了二极管引脚在室温和过热关断瞬间的电压曲线。

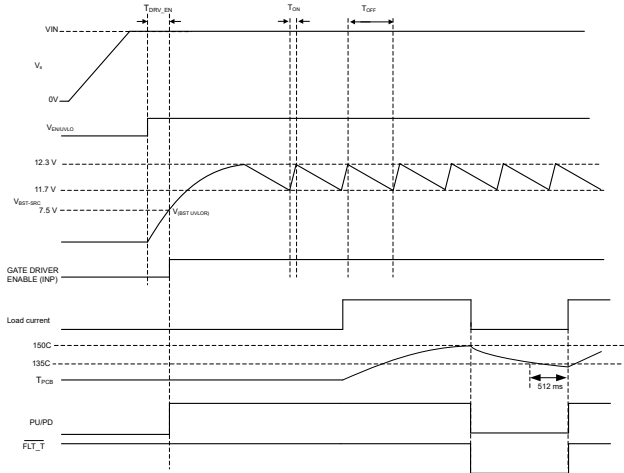


图 4. 过热保护方案时序图

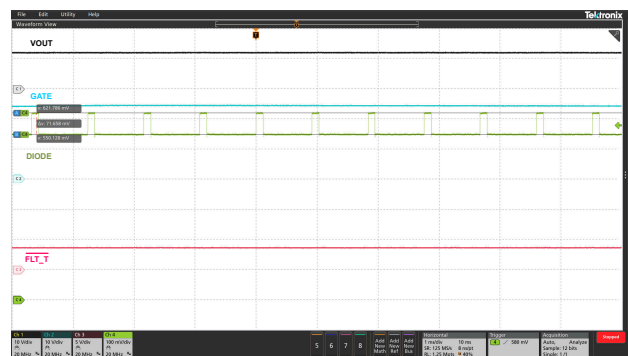


图 5. 二极管引脚在 $25^\circ C$ 时的电压曲线

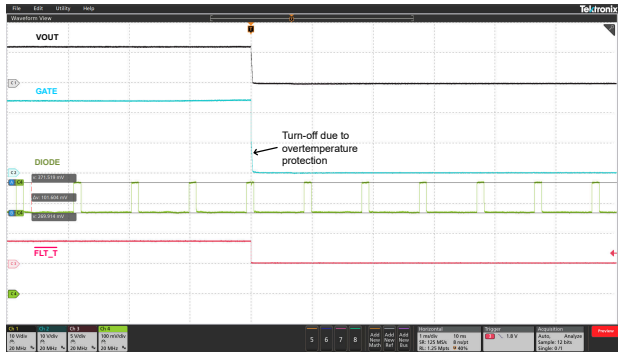


图 6. 二极管引脚在 150°C 时的电压曲线

设计和布局指南

精准的过热保护依赖于合适的 NPN 选择和良好的布局。一组简单的设计和布局规则可以在系统运行期间避免许多问题，有助于实现 150±10°C 范围内的过热保护。

- 过热保护的阈值取决于理想因数 (η)，该值在不同类型的晶体管之间可能差异很大。TI 推荐使用 BJT MMBT3904 作为远程温度检测元件 (Q3)。建议优先选择理想因数接近 1.004 的任何 3904 晶体管制造商的器件，如表 1 所示。

表 1. 合适供应商的理想因数详细信息

3904 晶体管制造商	典型理想因数 (η 因数)
Diodes Inc.	1.0044
Philips	1.0049
ST Micro	1.0045
On Semi	1.0045
Infineon	1.0044

- 在控制器的 DIODE 引脚和 GND 引脚之间放置一个 1000pF 的小型滤波电容器 (CF)，用于减轻噪声的影响。
- 将晶体管 (Q3) 放置在导通 MOSFET 附近，或在并联配置的 MOSFET 之间。
- 为晶体管 (Q3) 到控制器的连接布设差分对，尽量减少间距，如图 7 所示。将回路直接连接到控制器的 GND 引脚，避免共用接地路径。
- Q3 与控制器之间的 PCB 布线电阻过高会导致温度偏移，因此，应使用较粗的布线，从而尽可能地减小寄生电阻。
- 保持布线尽量短，因为布线越长，越容易拾取因布线电感而产生的噪声。
- 避免在噪声源（例如快速时钟、开关节点、大电流布线等）附近布线。

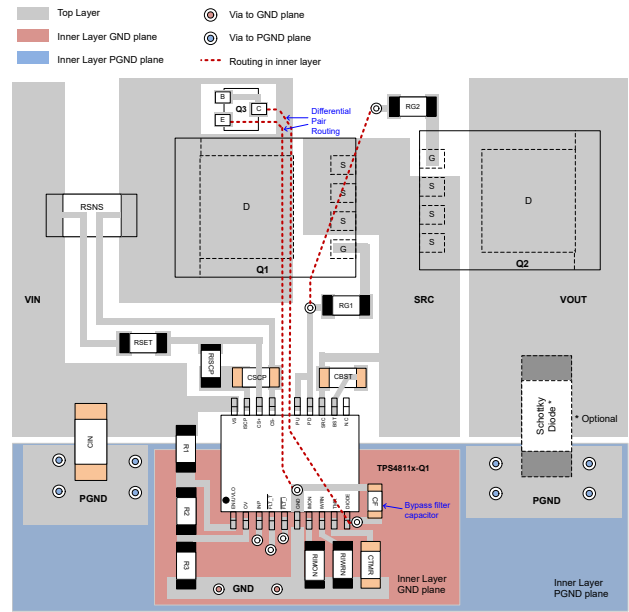


图 7. 温度检测二极管 (Q3) 的布局和放置建议

结语

TPS4811x-Q1 集成了远程温度检测和过热保护功能，可防止大功率系统设计中出现过热和热失控。为了确保在正确的阈值点提供过热保护，正确选择 NPN 晶体管和布局技术（例如本应用简报中讨论的差分对布线）至关重要。

参考资料

- 德州仪器 (TI)，[优化远程温度传感器设计](#) 应用报告。
- 德州仪器 (TI)，[TPS4811-Q1 具有保护和诊断功能的 100V 汽车级智能高侧驱动器](#) 数据表。

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 © 2024，德州仪器 (TI) 公司