



Link Huang

摘要

在汽车应用中，高边开关往往为不同的负载进行供电，这要求系统设需要对不同的负载故障进行区分，尤其针对短路和开路故障，需要实现可靠的故障提示。本文通过 TI 高边开关内部集成的高精度电流检测电路，在最小化外部电路设计的情况下，实现了对负载开路和电池短路故障的区分，以帮助工程师在功能设计时实现故障区分。

高边开关的负载开路和短路到电池诊断机理

TI 的高边开关产品集成了高精度电流检测电路和故障诊断电路，能够检测到负载短路到电池或负载开路故障，下文对 TI 的高边开关诊断机理进行了介绍。

EN=High

TI 的高边开关 TPSxHxxx 系列产品内部集成了电流检测电路，并且都具有非常高的电流检测精度。例如，TPS1HB08-Q1 在负载 $> 1A$ 时，具有 $\pm 5\%$ 的精度。

使能高边开关的 EN 引脚后，选择 SNS 输出用于检测负载电流，电流检测电路将输出一个与流经 Power MOSFET 电流 I_{OUT} 成比例 K_{SNS} 的电流 I_{SNSI} ，将该电流输入到一个外部电阻器 R_{SNS} ，可以产生一个与负载电流成正比的电压，如 [图 1](#) 所示。该电压可以由 ADC 进行测量，以判断负载的故障种类，如 [表 1](#) 所示。

EN=Low

当 EN=Low，禁用高边开关进行输出时，内部比较器将检测 OUT 的状态来实现故障诊断。具体机理是：Power MOSFET 并联了一个上拉 MOS 和 $1M\Omega$ 电阻，如果 DIA_EN=High，上拉 MOS 将导通， V_{OUT} 通过 $1M\Omega$ 电阻连接至 V_{BAT} 。如果负载开路或短路到电池， V_{OUT} 电压将远高于开路阈值 V_{OL} ，SNS 引脚将输出故障电流 I_{SNSFH} ，将该电流输入到外部电阻器 R_{SNS} ，可以产生一个故障电压以指示故障，如 图 2 所示。 V_{OL} 和 I_{SNSFH} 在数据手册的 "Electrical Characteristics" 一节介绍，如 表 2 所示。

表 2. TPS1HB08-Q1 V_{OL} 和 I_{SNSFH} 参数

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
V_{OL}	Open-load (OL) detection voltage	2	3	4	V
I_{SNSFH}	ISNS fault high-level	4	4.5	5.3	mA

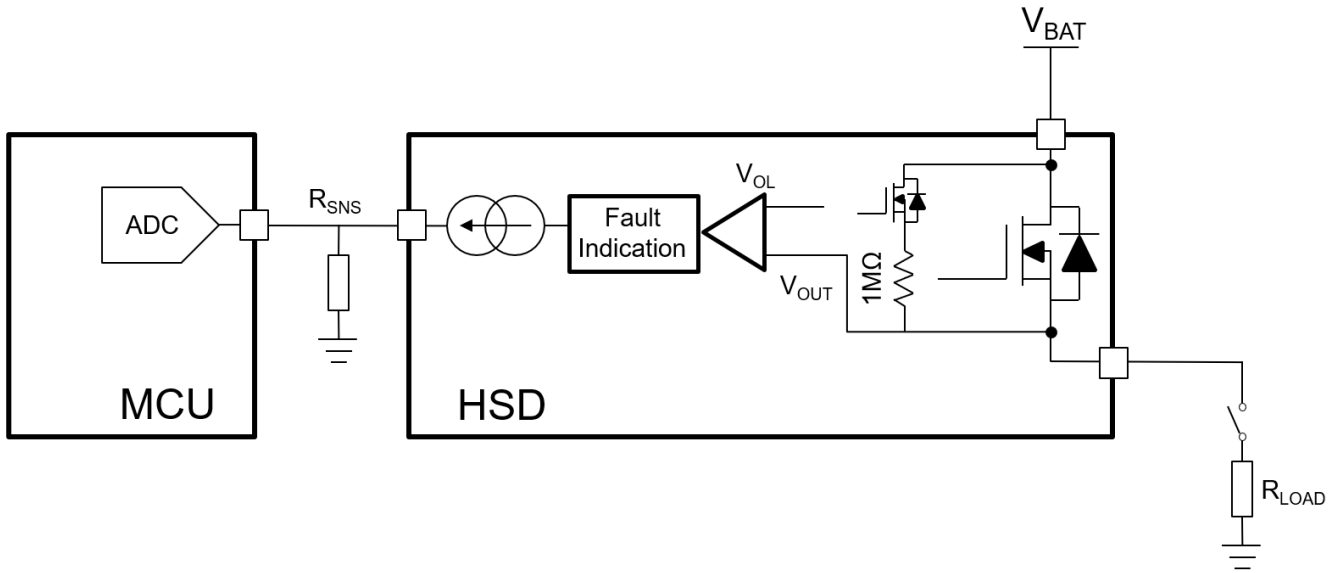


图 2. 负载开路 and 短路到电池诊断电路

如上文所述，在 DIA_EN=HIGH 且 EN=Low 时，TI 的高边开关产品能够检测 OUT 短路到电池或负载开路故障，但是在这两种情况时， V_{OUT} 电压都将远高于开路阈值 V_{OL} 且 SNS 引脚将输出相同的故障电流 I_{SNSFH} ，依旧无法区分这两种故障。

在高边开关中实现区分负载开路和电池短路故障

通过上文的分析，读者会发现在现有机制下无法区分负载开路和电池短路故障。TPSxHxxx-Q1 系列产品可以通过高精度电流检测电路和故障诊断电路指示故障信息。根据这个特性，可以进行额外的外部元器件的设计，来实现负载开路和电池短路故障区分。

方案 1

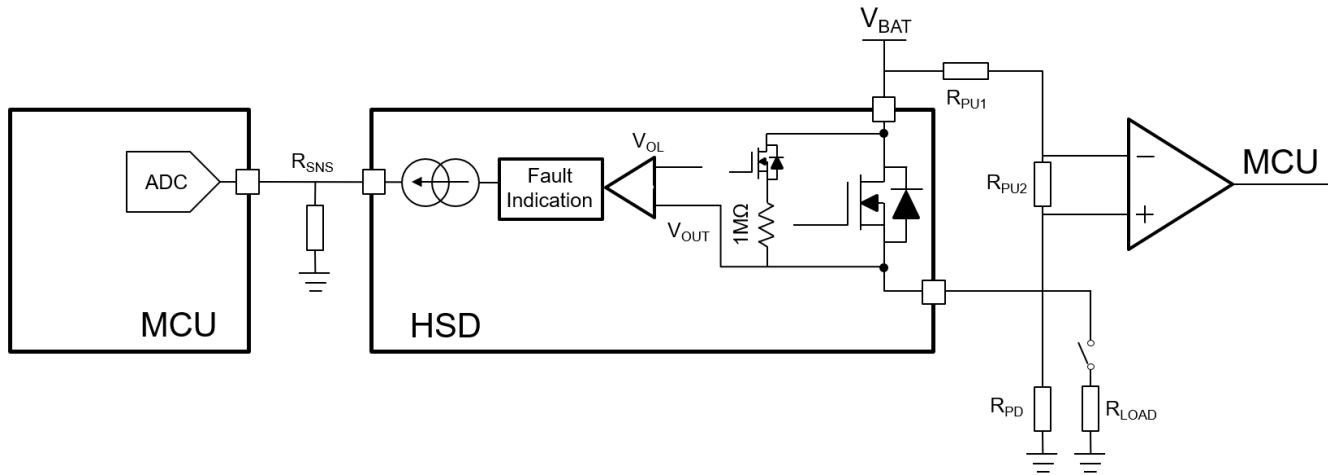


图 3. Solution1-实现区分负载开路和短路到电池的诊断电路

如果 EN=H，DIAG_EN=H，可读取 SNS 的电流值来判断故障类型：

- Normal : $I_L = V_{BAT} / (R_{DS_ON} + R_{PD} // R_{LOAD})$
- Open Load : $I_L = V_{BAT} / (R_{DS_ON} + R_{PD})$
- Short to Battery : $V_{BAT} \approx V_{OUT}$, $I_L = 0A$

备注： I_L 指的是流经高边开关内部 MOS 的电流。

如果 EN=L，DIAG_EN=H，可读取运放的输出来判断故障类型：

- Normal : SNS 将为 Hi-Z (不报告故障)，由于内部诊断 MOS 串联一个 $1M\Omega$ 电阻，负载等效下拉电阻的下拉能力相对于内部上拉是更强的，因此 V_{OUT} 将小于 V_{OL} 。比较器输出将为 Low，这是因为 $V_- > V_+$ 。
- Open Load : $V_{OUT} = V_{BAT} > V_{OL}$ ，因此 SNS 将输出故障，但比较器将输出低电平，因为 $V_- > V_+$ 。
- Short to Battery : $V_{OUT} = V_{BAT} > V_{OL}$ ，因此 SNS 将输出故障，比较器将输出高电平，因为 $V_{OUT} = V_{BAT} = V_+ > V_-$ 。

表 3. 实现区分负载开路和电池短路故障诊断汇总

EN PIN	负载工况	I_{SNSI} 电流/A	比较器输出
High	正常	$[V_{BAT} / (R_{ON} + R_{PD} // R_{LOAD})] / K_{SNS}$	
	开路	$[V_{BAT} / (R_{ON} + R_{PD})] / K_{SNS}$	
	短路到电池	0	
EN PIN	负载工况	I_{SNSI} 电流/A	比较器输出
Low	正常	0	Low
	开路	I_{SNSFH}	Low
	短路到电池	I_{SNSFH}	High

方案 2

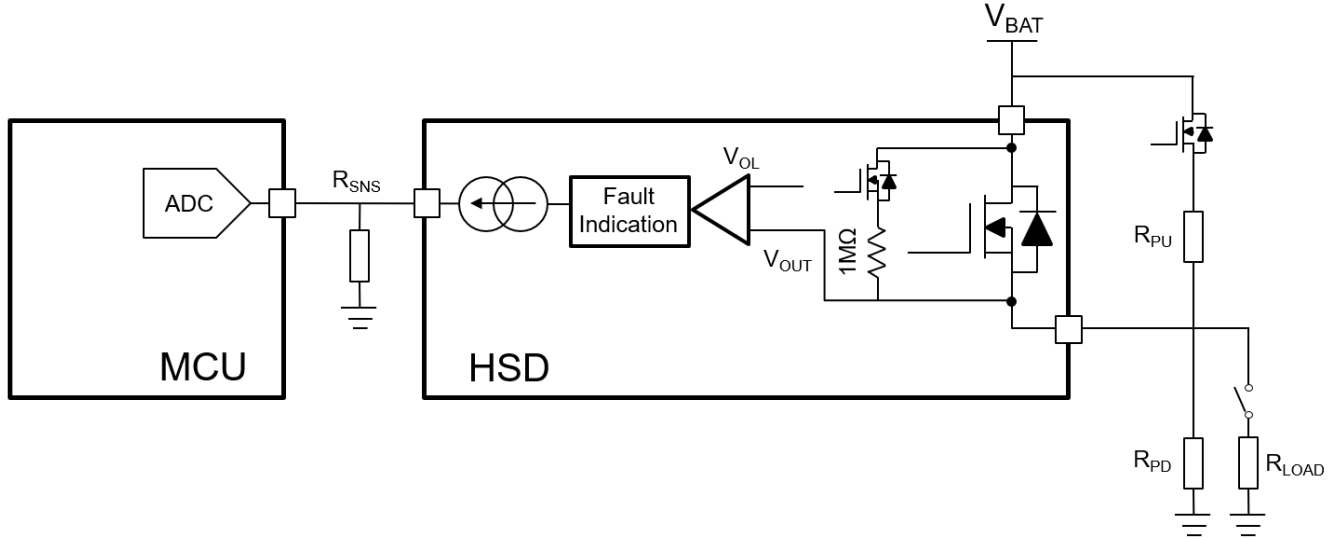


图 4. Solution2-实现区分负载开路 and 短路到电池的诊断电路

如果 EN=H, DIAG_EN=H, 可读取 SNS 的电流值来判断故障类型：

- Normal : $I_L = V_{BAT} / (R_{DS_ON} + R_{PD} // R_{LOAD})$
- Open Load : $I_L = V_{BAT} / (R_{DS_ON} + R_{PD})$
- Short to Battery : $V_{BAT} \approx V_{OUT}$, 电流不经过器件, $I_L = 0A$

如果 EN=L, DIAG_EN=H, 可以区分开路负载与电池短路：

- Normal : SNS 将为 Hi-Z (不报告故障) 无论 FET/BJT 状态如何
- Open Load : FET/BJT 禁用时 SNS 不会报故障, 只将在 FET/BJT 导通时显示故障, 那么就可以通过切换 FET/BJT 并查看 SNS 电压是否变化来确定故障类型。(EN=L, DIAG_EN=H 时, 需要通过配置 R_{PU} 和 R_{PD} 的值, 来实现 FET/BJT 禁用时, $V_{OUT} = V_{BAT} > V_{OL}$, FET/BJT 导通时, $V_{OUT} < V_{OL}$ 。)
- Short to Battery : 无论 FET/BJT 状态如何, $V_{OUT} = V_{BAT} > V_{OL}$, SNS 都会报告故障。

表 4. 实现区分负载开路和电池短路故障诊断汇总

EN PIN	MCU_GPIO	负载工况	I_{SNS} 电流/A
High	Low	正常	$[V_{BAT} / (R_{DS_ON} + R_{PD} // R_{LOAD})] / K_{SNS}$
	Low	开路	$[V_{BAT} / (R_{DS_ON} + R_{PD})] / K_{SNS}$
	Low	短路到电池	0
Low	Low/High	正常	0
	Low	开路	0
	High	开路	I_{SNSFH}
	Low/High	短路到电池	I_{SNSFH}

小结

上文表述了两种方案, 在不驱动负载时实现区分负载开路和短路到电池故障, 工程师可以根据需求选择其一进行设计。对于不要求离线诊断的应用, 可以在 EN=High 时进行诊断, 这样便不需要外部电路的设计。

参考文献

1. Datasheet "TPS1HB08-Q1 40-V, 8-mΩ Single-Channel Smart High-Side Switch datasheet (Rev. C)"
2. Application note "High Accuracy Current Sense of Smart High Side Switches"

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 © 2026，德州仪器 (TI) 公司

最后更新日期：2025 年 10 月