

Application Note

使用 **XTR200** 提供 **M-CRPS** 电流监测输出



John Caldwell

摘要

用于服务器、云或 AI 应用的高性能电源包含一个输出电流监测引脚，该引脚可提供按比例缩小的输出电流表示。该电流监测功能可提供有关不同电压总线上实时输出电流的有价值信息。XTR200 等电流变送器产品是用于执行电流监测功能的有用构建块。这些器件使用由单个外部电阻器指定的传递函数，将输入电压转换为输出电流。XTR200 还在超小型 2mm x 3mm WSON 封装中集成了输出晶体管、保护电路和诊断功能。本应用手册提供了电流监测输出的电路示例，旨在满足 OCP M-CRPS 基本规格中概述的要求，并详细介绍了相关设计步骤，供工程师调整此设计以满足其他应用要求。

内容

1 简介.....	2
2 详细说明.....	3
2.1 电流测量.....	3
2.2 电流传输.....	4
2.3 附加输出电路.....	5
2.4 仿真.....	5
3 总结.....	7
4 参考资料.....	7

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 简介

用于服务器应用的高性能电源包含一个输出电流监测引脚，该引脚可提供按比例缩小的输出电流表示。该电流监测功能可提供有关不同电压总线上实时输出电流的有价值信息。来自多个电源的电流监测引脚也可以连接在一起，以测量多条总线上的总输出电流。

XTR200 等电流变送器产品是用于执行电流监测功能的有用构建块。这些器件使用由单个外部电阻器指定的传递函数，将输入电压转换为输出电流。XTR200 还在超小型 2mm × 3mm WSON 封装中集成了输出晶体管、保护电路和诊断功能，专为空间受限的电源和主板 PCB 而设计。

开放计算项目 (OCP) 是一个多家公司之间合作开展的项目，为电源定义了一种标准，称为*模块化硬件系统 — 通用冗余电源 (M-CRPS)* 基本规格 [1]。标准文档明确概述了对电流监测输出的几项要求，这使得多个制造商提供的硬件之间能够实现互操作性。表 1-1 中概述了对 M-CRPS 电流监测输出的各项要求：

表 1-1. M-CRPS 基本规格中的电流监测输出要求汇总

规格	值	注释
灵敏度	0mA 至 2mA (0% 至 200% 额定电流) 或 10μA/A (0% 至 200% 额定电流范围)	用户可选
最小带宽	40kHz	
顺从电压	3.3V	在正常或异常工作条件下，IMON 信号不能超过 3.3V
信号延迟	≤20μs	5% 至 105% 负载阶跃、8A/μs 边沿速率，电源上无外部电容
输入漏电流	<500nA	在 85°C 和 12V 下进行了验证。电源未通电、处于待机状态或处于冷冗余模式
容差	在 10% 额定电流下为 15% ， 在 140% 额定电流下为 2%	

2 详细说明

电流监测电路示例如图 2-1 所示。该电路由三部分组成：电流测量、电流传输以及用于钳位和向后兼容的附加输出电路。本文档中的设计过程以 12V 电源为例（额定输出电流容量为 50A），但这些概念适用于所有电源。

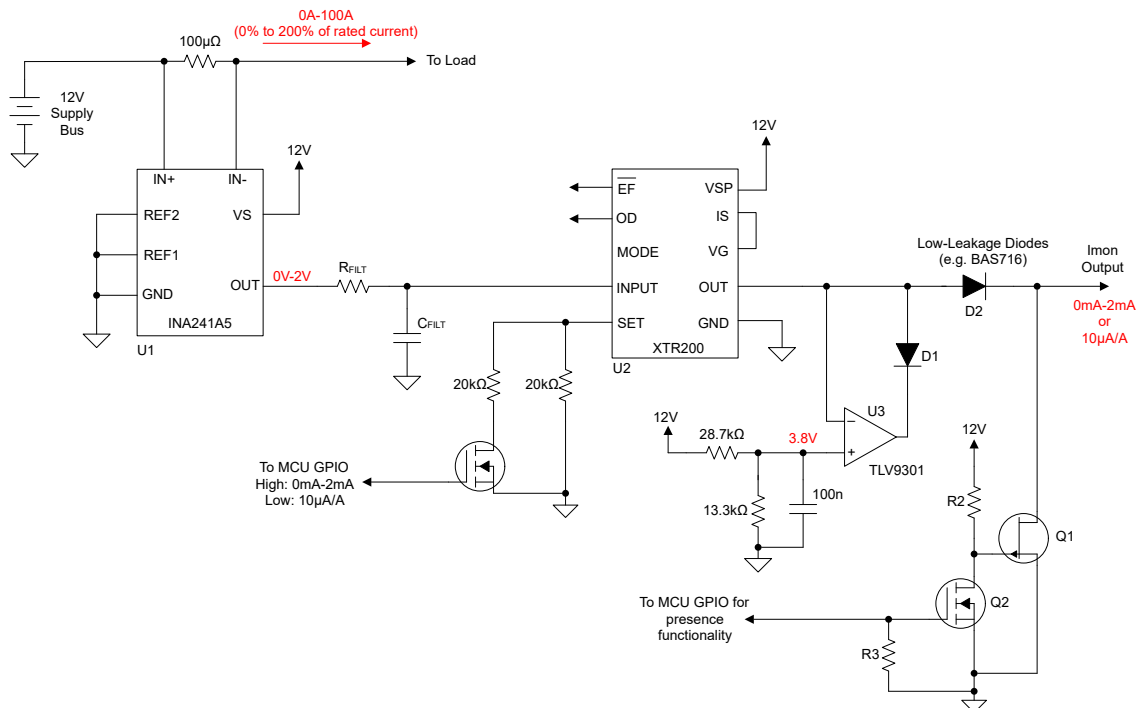


图 2-1. 为额定输出电流为 50A 的 12V 电源提供电流监测输出的简化原理图

2.1 电流测量

图 2-2 突出显示了电路的电流测量部分。此功能基于 INA241 高精度电流测量放大器 [2]。该器件具有极低 ($8\mu\text{V}$, 最大值) 的输入失调电压和 ($100\text{nV}/^\circ\text{C}$, 最大值) 温漂特性, 支持极低阻值的分流电阻器。原理图示例中所示的 $100\mu\Omega$ 分流电阻器在 50A 输出电流下产生 5mV 的压降, 在 100A (200% 额定容量) 下产生 10mV 的压降。INA241 的 “A5” 型号具有 $200\text{V}/\text{V}$ 的固定电压增益。因此, 在 200% 的额定输出电流 (100A) 下, INA241A5 可产生 2V 输出电压。

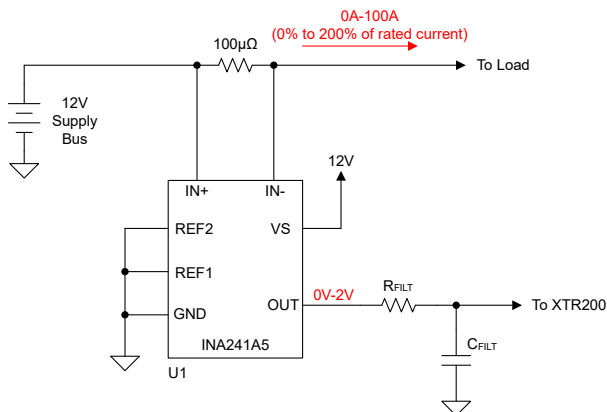


图 2-2. 基于 INA241A5 的电流测量部分

INA241A5 上的两个基准引脚都接地，因此当输出电流为 0A 时，INA241A5 输出会尝试达到 0V。然而，INA241A5 的最小输出电压指定为最大 20mV，相当于 100μΩ 分流器的最小可测量电流为 1A。高于最小输出电压时，测量中的误差主要来自 INA241A5 的最大输入失调电压 8μV。该失调电压相当于电流测量中的 80mA 误

差，或 10% 额定输出下的 1.6% 误差，完全处于 M-CRPS 规格的容差范围内。如果需要带宽限制，原理图中显示了一个由 R_{FILT} 和 C_{FILT} 组成的可选低通滤波器电路。INA241A5 的未滤波 -3dB 带宽为 1.1MHz，完全可以满足 $<20\mu s$ 的信号延迟要求。

2.2 电流传输

在图 2-3 所示的电流传输部分，XTR200 将来自 INA241A5 的 0V 至 2V 输出信号转换为电流输出，其传递函数由 SET 引脚与大地之间的电阻定义，称为 R_{SET} 。XTR200 是用于实现此功能的极其方便的构建块，因为该器件在超小型 2mm x 3mm WSON 封装中集成了两个运算放大器、精密电阻器、一个输出晶体管以及诊断和保护功能 [3]。

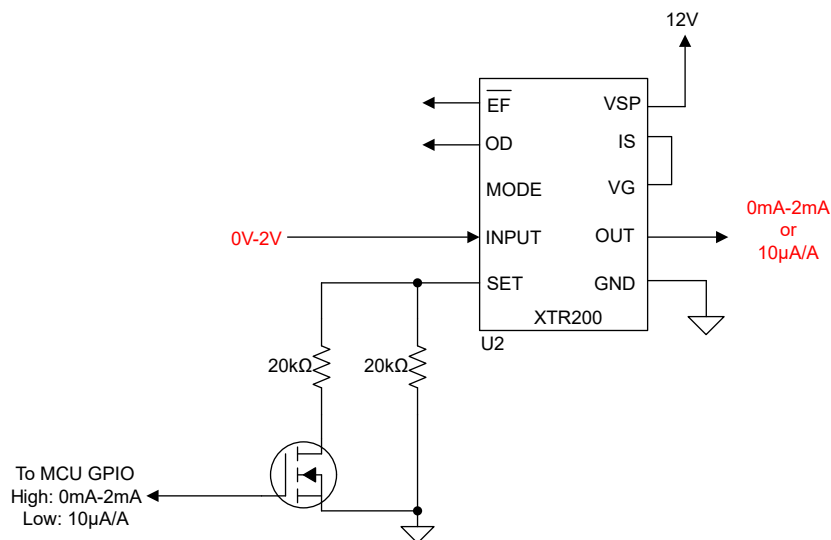


图 2-3. XTR200 可将 INA241A5 的输出电压转换为监测电流

M-CRPS 标准要求电流监测器具有用户可选的传递函数，即每安培输出电流对应 $10\mu A$ 监测电流，或者 0mA - 2mA 对应 0% - 200% 额定输出电流。因此，在输出电流为 100A 时，XTR200 可提供 1mA ($10\mu A/A$) 或 2mA 监测电流，其中对于来自 INA241A5 的 2V 输入信号，可指示 200% 的额定输出电流。两种情况下的 R_{SET} 值均可使用 [方程式 1](#) 和 [方程式 2](#) 计算得出。

$$R_{SET} = \frac{10 \cdot V_{IN}}{I_{OUT}} = \frac{10 \cdot 2V}{1mA} = 20k\Omega \quad (1)$$

$$R_{SET} = \frac{10 \cdot V_{IN}}{I_{OUT}} = \frac{10 \cdot 2V}{2mA} = 10k\Omega \quad (2)$$

由于需要两个 R_{SET} 值，因此 NMOS 晶体管将切换为第二个电阻并联到第一个电阻。两个 $20k\Omega$ 电阻器可用于生成 $20k\Omega$ 或 $10k\Omega$ R_{SET} 值。

XTR200 的输出禁用 (OD) 引脚可用于将输出置于高阻抗状态。发生故障（例如 SET 引脚短路或开路，或者出现过热情况）时，错误标志 (EF) 引脚置位低电平。需要注意的是，虽然 XTR200 错误标志通常指示开路负载故障，但在该原理图示例中，放置在 XTR200 之后的钳位电路会阻止检测开路故障。XTR200 的 IS 和 VG 引脚短接在一起，如图 3 所示。这些引脚供外部晶体管使用，该晶体管在此应用中不是必需的。将这些引脚短接在一起可以让 XTR200 的内部输出晶体管提供电流监测信号。

虽然 XTR200 的输入失调电压 ($800\mu V$ ，最大值) 大于 INA241A5，但这不会显著降低电路的精度。可以通过将 XTR200 失调电压以 INA241 的输入为基准，并将两个不相关的失调电压组合为平方和根，来计算单信号路径的总输入失调电压，如 [方程式 3](#) 所示：

$$V_{OS(Total)} = \sqrt{V_{OS(INA241)}^2 + \left(\frac{V_{OS(XTR200)}}{A_V(INA241)}\right)^2} = \sqrt{(8\mu V)^2 + \left(\frac{800\mu V}{200V/V}\right)^2} = 8.94\mu V \quad (3)$$

2.3 附加输出电路

二极管 D2 可防止在电路未通电时, 反向电流流回电流监测电路。M-CRPS 标准定义了 在 85°C 和 12V 下, 流入 IMON 引脚的漏电流需小于 500nA 的严格要求。因此, 二极管 D1 和 D2 都是低漏电流类型, 例如 BAS716。温度每升高 10°C, 二极管漏电流大约增加一倍。因此, 若要使电路在 85°C 时的漏电流小于 500nA, 那么在 25°C 时的漏电流必须小于 7.8nA。

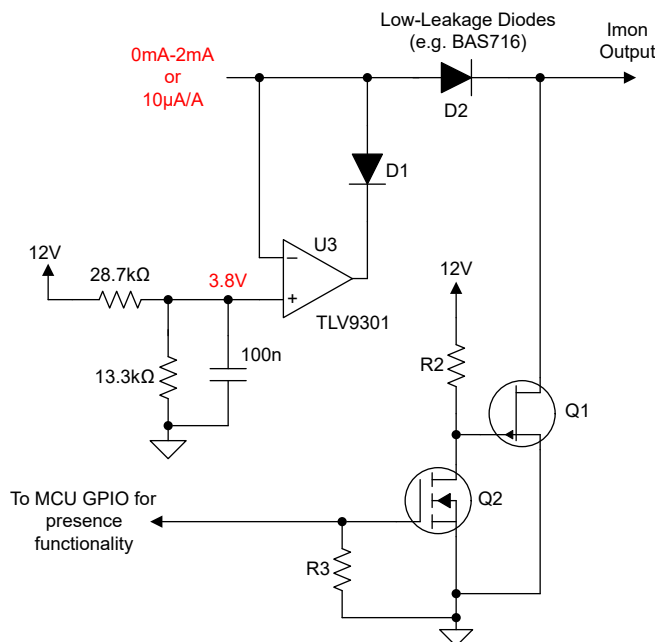


图 2-4. 输出钳位和在位检测电路

晶体管 Q1 是 PJFET，可用于将 IMON 引脚拉至低电平以实现“在位”检测。M-CRPS 标准建议，在 IMON 引脚的输出端使用这个附加电路，以实现与旧系统的向后兼容。由于通过 Q1 的泄漏直接导致引脚输出泄漏，因此必须使用低泄漏 PJFET (如 MMBFJ177) 来优化此功能。典型 NMOS 晶体管的关断状态泄漏过高，无法满足该标准要求。

2.4 仿真

本节中的图形显示了电路在各种运行条件下的仿真性能。图 2-5 展示了可提高电源输出电流和两种灵敏度的电流监测输出。该电路以出色的线性度在较宽的电流范围内进行仿真。

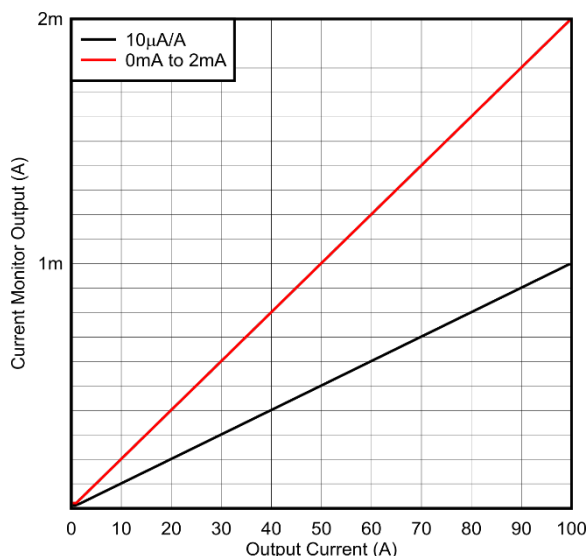


图 2-5. 电流监测输出的直流传输特性

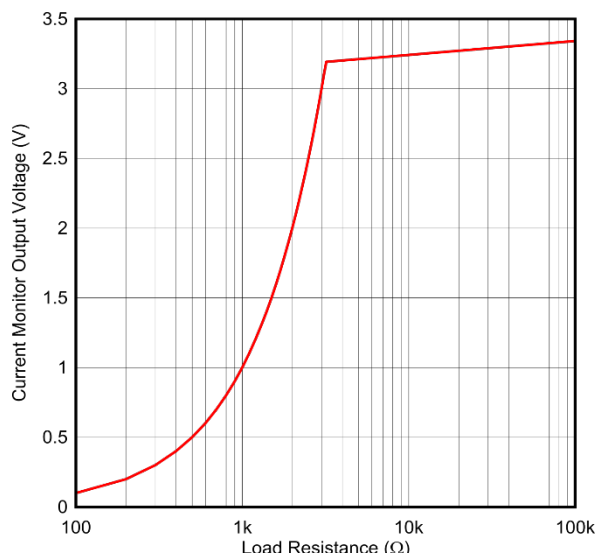


图 2-6. 1mA 监测电流下的输出电压以及负载电阻增加

图 2-6 展示了电路的钳位功能。该图显示 1mA 监测电流下电流监测引脚上的输出电压。监测引脚上的负载电阻从 100 Ω 扫频至 100k Ω。在负载电阻为 3.3k Ω 时，输出电压达到 3.3V，监测电路开始钳制输出电压。随着负载电阻继续增加，根据 M-CRPS 标准的要求，输出电压在 3.3V 时保持相对平稳。

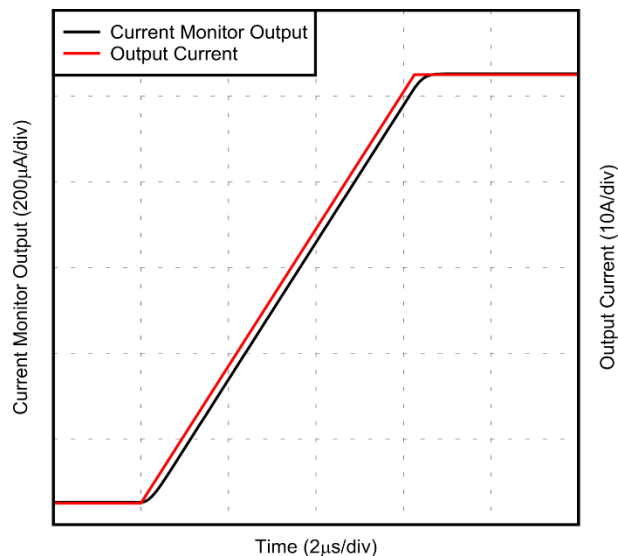


图 2-7. 当负载从 5% 突增至 105% 时，电流监测器输出会做出上升沿瞬态响应

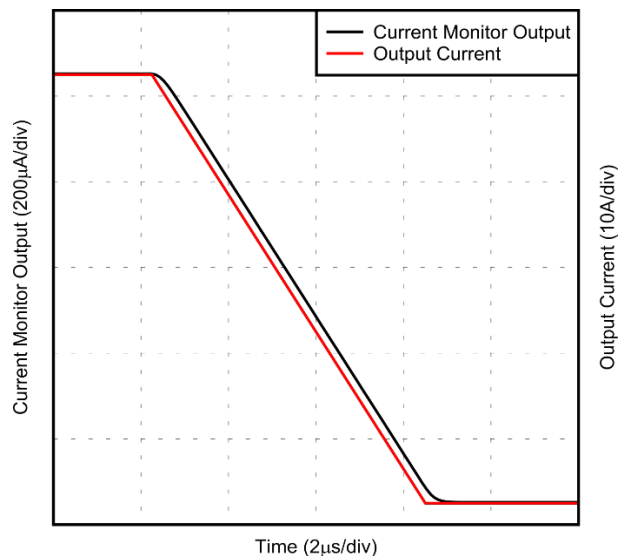


图 2-8. 当负载从 105% 突降至 5% 时，电流监测输出会做出下降沿瞬态响应

图 2-7 和 图 2-8 显示了在出现 5% 至 105% (2.5A 至 52.5A) 的负载阶跃时，监测电路的上升和下降瞬态响应，恢复到 5% 时，边沿速率为 $8A/\mu s$ 。XTR200 和 INA241A5 的宽带宽允许监测电流以最小延迟或过冲跟踪电源输出电流。信号延迟远低于该标准的 20 μs 要求。

3 总结

本文档概述了设计符合 OCP M-CRPS 规格的电流监测电路时的主要注意事项。此处显示的电路示例使用高精度电流分流放大器和 XTR200 电流变送器，来在 12V 总线上产生按比例缩小的输出电流表示。使用 XTR200 可实现用户可配置电路的灵敏度，以满足 M-CRPS 标准中所需的传输函数要求。该电路还包括输出钳位（用于将输出电压限制在大约 3.3V），以及用于实现向后兼容性的存在检测功能。对电路性能进行仿真展示出卓越的精度、瞬态响应和钳位功能。XTR200 具有高性能、小尺寸和出色的集成特性，非常适合在企业计算应用中为电源提供电流监测输出。

4 参考资料

1. 开源计算项目，[Server/MHS/DC-MHS-Specs-and-designs](#) 网页。
2. 德州仪器 (TI)，[INA241](#) 产品文件夹。
3. 德州仪器 (TI)，[XTR200](#) 产品文件夹。

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