

高功率 USB Type-C® 应用中的电流感应

作者: Ben Damkroger

Current&Position Sensing 产品营销工程师

简介

随着 USB Type-C® (也称为 USB-C®) 连接器的推出, 您不必再为翻转 USB 电缆三四次后才能找到插入设备的正确方向而感到烦恼。不过, 随着 USB 技术的发展, 更小且可翻转的电缆并不是唯一的新事物; USB-C 标准允许用 Type-C 接口替换包括 USB-B、USB-A、HDMI、DisplayPort 和 3.5mm pin 接口在内的各种电气接口。令人遗憾的是, 仅 USB-C 具有 15W 的功率限制。不过, USB Power Delivery (USB PD) 通过引入可配置电压电平 (5V、9V、15V 或 20V) 将该功率限制提高至 100W。该 100W 的限制意味着功率更高的设备 (例如笔记本电脑、平板电脑和显示器) 都可以使用一根 USB PD 电缆充电并运行。

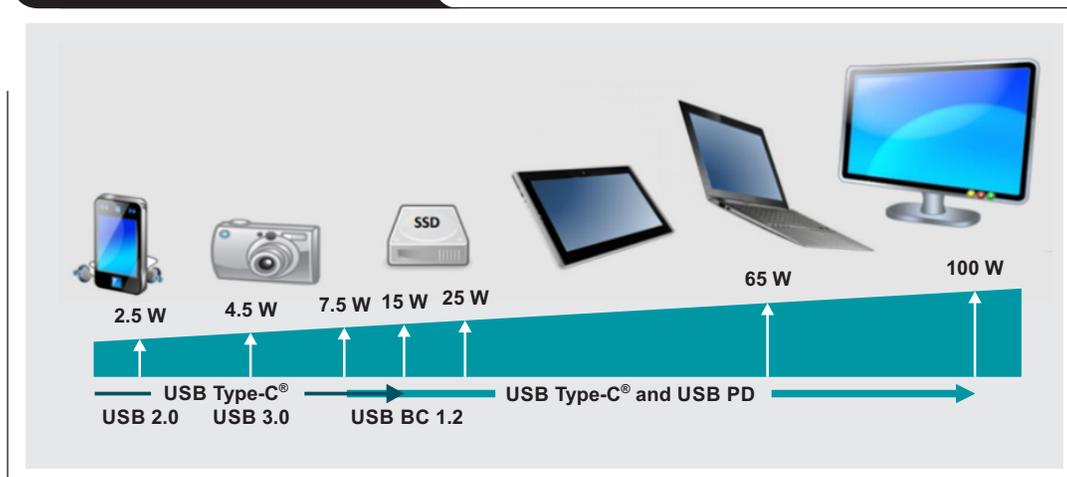
不过, 与以前的标准相比, 功率增加后会有更多的设计注意事项。USB-C 电缆具有 24 个引脚, 其中包括四根 Vbus 线和四根接地线 (多于 USB 3.0)。这些 Vbus 线路需要过压、过流和反向电流保护。由 Vbus 线路故障或负载设备内部故障引起的瞬态尖峰, 也需要保护器件实施检测和保护措施。在供电和受电 (负载) 设备中都应添加这些保护措施, 从而确保安全运行。对于受电设备, 由

于电源适配器较低的制造成本以及制造过程中可能出现的偷工减料, 消费者不能保证使用到具有有效保护的适配器。因此无法保证消费者使用具有充分保护的电源适配器。有时, 发生故障的电源适配器可能会在进行 USB 协商之前提供 20V 的电压, 从而可能使受电设备过载。对于供电设备, 廉价的 USB 电缆和 USB-C PD 设备可能发生接线错误, 从而导致充电器的负载侧短路, 最终需要一些保护。

在设计用作电源的设备 (例如扩展坞或充电器) 时, 需要在下游安装屏蔽设备, 尤其是在以接近 USB PD 100W 限制的功率运行时。USB PD 控制器中的集成电流感应通常仅具有 $\pm 10\%$ 至 $\pm 15\%$ 的精度。这些精度水平可能足以满足某些保护要求, 但更精确的过流保护解决方案可以更大限度地增大 USB 端口能够提供的电流, 同时使功率低于规定的水平。

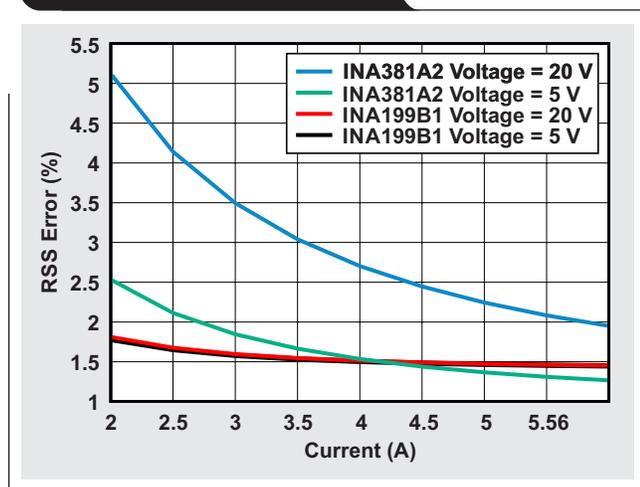
例如, 要考虑 20V/5A (100W) 系统中的电流容差, 应将最大电流限制设置为比 5A 小 10% 的值, 即 4.545A ($5A \times 1 \div 1.1$)。在最大电流为 4.545A 的情况下, 为负载设备提供的最大可能功率为 90.9W。此外, 当电流比最大值低 10% (即 4.090A) 时, 系统只能提供 81.8W 的功率。

图 1. USB PD 功率范围



为了设置更高的电流阈值,可以采用 INA199 等分立式电流感应放大器,该放大器具有 $150\mu\text{V}$ 的失调电压和 1% 的增益误差,在 100W 的应用中,可以在电流大于 1A 时轻松提供 1.5% 的精度。该器件支持将电流限制设置为 4.926A ($5\text{A} \times 1 \div 1.015$),这意味着 USB 端口可以向负载提供 98.52W 的功率。图 2 显示了 INA199 和 INA381 的平方和根 (RSS) 误差曲线。

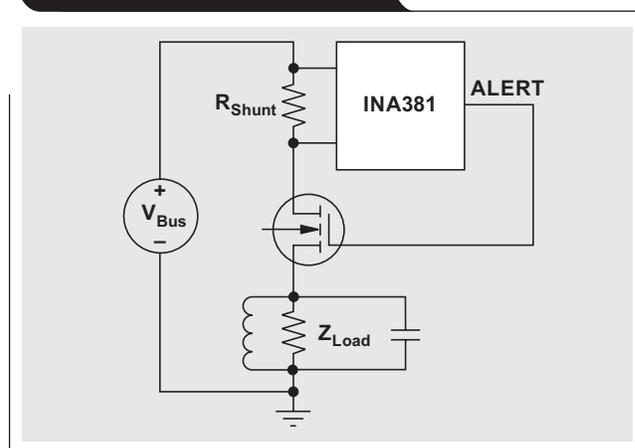
图 2. INA199 和 INA381 总测量误差



对于通过 USB PD 电源接收功率的设备,强烈建议添加电流感应功能,为内部故障提供保护。我们无法知道消费者是否会使用具有足够过流保护功能的 USB PD 控制器为外围设备供电。对此一种简单的解决方案是在设备的 Vbus 输入中设计内部过流保护,方法是用导线将一个分立式电流感应放大器、一个比较器和一个场效应晶体管 (FET) 连接成一个电子保险丝。利用电子保险丝,电流感应放大器可检测电流是否过高,比较器可控制 FET 触发器,以便关闭 FET 并使电流中断。

最直接的实现方式是使用比较器的模拟输出触发关断 FET。或者可以利用模数转换器 (ADC) 与微控制器 (MCU) 通过数字逻辑判断决定何时关断 FET。这些过流保护方案提供的响应速度比热熔丝快很多,并且无需更换即可重置和重复使用。INA381 电流感应放大器集成了高速的比较器,因此,无需使用额外的比较器,从而缩减了物料清单,并使设计过程更加简单。图 3 是采用该器件的简化电路。

图 3. 采用 INA381 的简化电子保险丝电路



选择正确的电流传感器至关重要,尤其是考虑到它们的多样性。例如,数字电源监视器提供了一个集成的 ADC,可以释放系统 MCU 模拟输入空间,同时还可以访问功耗计算和累积(能量)等额外的功能。另一方面,模拟电流感应放大器因其低成本和多功能性而更受欢迎。集成式增益电阻器和模拟电流感应放大器的输入级使其输入能够检测到其电源电压之外的共模电压,因此,与标准运算放大器相比,这些器件更适合电流感应。电流感应放大器还可以与比较器集成在一起,用于提高响应速度,并提供警报信号以实现过流保护;后者对于保护 USB-C PD 设备而言尤其重要。

$$\text{Total Error} = \sqrt{V_{OS}^2 + \text{CMRR}^2 + \text{PSRR}^2 + \text{Gain Error}^2 + \text{Shunt Tolerance}^2 + \text{Bias Current}^2} \quad (1)$$

如前所述, 电流感应放大器比大多数 USB-C PD 控制器的集成电流感应更加精确。为了理解其中的原因, 请首先考虑电流感应数据表中的各种误差源, 然后使用这些误差源通过平方和根 (RSS) 方法来计算误差。上面的公式 1 显示了电流感应放大器中存在的不同误差源。

在测量小电流时, 输入失调电压 (V_{OS}) 是主要的误差源, 因为相对于相对较小的分流电压而言 - 在较高的电流下, 输入失调电压随分流电压的增大而减小。该失调电压误差是所有放大器固有的, 是电阻器和晶体管不匹配的结果。在较大的电流下, 增益误差决定了误差, 因为即使在高电流下增益误差仍然存在, 并且不会随着分流电压的增大而减小。可以使用公式 1 来手动计算这些误差源。有关更多信息, 请参考该页面中提供的“参考文献”和“相关网站”。

结束语

随着 USB PD 的出现, 高功率 USB 设备的数量持续增长。本文介绍了一些选项, 用于实现电流保护和电源监视以及补偿 USB PD 控制器中集成电流感应通常遇到的容差误差。此外, 还重点介绍了最大程度地提高电源设备输出功率以及保护耗电负载设备的需求。电流感应放大器凭借更高的精度和更大的设计灵活性, 为许多设计难题提供了简单的解决方案。

参考文献

1. TI 高精度实验室 - 电流感应放大器, 德州仪器 (TI) 培训和视频
2. 使用电流感应放大器更大程度地优化系统, 概述, 德州仪器 (TI) 产品和参考设计

相关网站

产品信息:

INA199

INA381

INA381 设计工具和仿真

TI 全球技术支持

TI 支持

感谢您的订购。要查找有关您支持需求的答复或联系我们的支持中心, 请访问

www.ti.com.cn/support

中国: <http://www.ti.com.cn/guidedsupport/cn/docs/supporthome.tsp>

日本: <http://www.tij.co.jp/guidedsupport/jp/docs/supporthome.tsp>

技术支持论坛

在 TI 的 E2E™ 社区 (工程师对工程师) 中搜索数百万个技术问题和答案, 请访问

e2e.ti.com

中国: <http://www.deyisupport.com/>

日本: <http://e2e.ti.com/group/jp/>

TI 培训

从技术基础到高级实施, 我们提供点播和直播培训以帮助您实现下一代设计。即刻体验, 请访问

training.ti.com

中国: <http://www.ti.com.cn/general/cn/docs/gencontent.tsp?contentId=71968>

日本: <https://training.ti.com/jp>

重要声明: 本文所提及德州仪器 (TI) 及其子公司的产品和服务均依照 TI 标准销售条款和条件进行销售。TI 建议用户在下订单前查阅全面的全新产品与服务信息。TI 对应用帮助、客户应用或产品设计、软件性能或侵犯专利不承担任何责任。有关任何其他公司产品或服务的发布信息均不构成 TI 因此对其的批准、担保或认可。

A011617

E2E 是德州仪器 (TI) 的商标。USB Type-C 和 USB-C 是 USB Implementers Forum, Inc. 的注册商标。所有其他商标均为其各自所有者的财产。

© 德州仪器 (TI) 公司 2021 年版权所有。
版权所有。



ZHCT339

重要声明和免责声明

TI 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安全、安保或其他要求。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 (<https://www.ti.com.cn/zh-cn/legal/termsofsale.html>) 或 [ti.com.cn](https://www.ti.com.cn) 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。

邮寄地址：上海市浦东新区世纪大道 1568 号中建大厦 32 楼，邮政编码：200122

Copyright © 2021 德州仪器半导体技术（上海）有限公司