

Technical Article

从桶形插孔转换到 USB Type-C PD



Max Wang, Brian King

在过去数年里，支持电力输送 (PD) 的 USB Type-C® 标准已在各种电子产品中得到广泛应用。这一普遍应用得益于以下优势：统一端口 (减少电子废弃物)、便捷的可逆连接器以及大功率能力等。

如图 1 所示，最新版本的 USB PD 3.1 将 USB 的功率能力提升至 240W，相较之前 USB PD 3.0 规范的 100W 可用功率增加一倍以上。这使得现在可以通过 USB 为各种全新应用供电。为了减少电子废弃物，欧盟和印度已着手推动立法，要求自 2025 年起个人电子产品需采用 USB Type-C，预计这一趋势将扩及电动工具、智能扬声器、真空吸尘器、电动自行车充电器和网络等其他应用。这些趋势和法规迫使制造商寻找简单而又经济的方法，以将其产品上的电源连接器从桶形插孔转换为 USB-C 连接器。

USB Protocol	Nominal Voltage	Maximum Current	Power
USB 2.0	5V	500mA	2.5W
USB 3.1	5V	900mA	4.5W
USB BC1.2	5V	Up to 1.5A	Up to 7.5W
USB Type-C	5V	3A	15W
USB PD 3.0	Configurable up to 20V	5A	Up to 100W
USB PD 3.1	Configurable up to 48V	5A	Up to 240W

图 1. USB 电源标准，其中最新 USB PD 3.1 版本将 USB 的功率能力提升至 240W。来源：德州仪器 (TI)

在本期电源设计小贴士中，我们将讨论系统电源注意事项，并演示如何快速、轻松打造 USB-C 连接器和电源管理电路，从而协商适配 USB PD 合约来满足设计的功率要求。

USB PD 功率流

同样值得注意的是，USB PD 生态系统中有三种类型的功率流：仅受电的设备、仅供电的设备，或允许双向功率流的设备 (双角色电源)。在本文中，我们将重点介绍仅受电应用。

采用 USB PD 的接收端设备在接收来自 USB PD 电源的供电之前，必须在受电设备和电源之间进行一些握手和协商。这是因为 USB PD 电源总线的电压可以在 5V 至 48V 之间变动，具体取决于电源的功率能力。您显然不会想要将 48V 电压施加到仅应用于 15V 输入源的受电设备。在 USB PD 接收端应用中，需要一个被称为端口控制器的专用设备来执行此功率合约协商，并提供过流和过压等保护。在过去，添加一个配置有适当功能的 USB PD 端口控制器，不仅需要深入了解 USB 认证，还涉及大量固件开发工作。为简化电源架构并降低设计复杂度，依托预

编程 USB PD 控制器，设计人员可通过简单的电阻分压器设置来配置最大和最小电压以及电流接收能力，如 图 2 所示。这样就无需外部电擦除可编程只读存储器 (EEPROM)、MCU 或任何形式的固件开发。

ADCIN1 Decoded Value	Minimum Voltage Configuration
0	5V
1	9V
2	12V
3	15V
4	20V
ADCIN2 Decoded Value	Maximum Voltage Configuration
1	9V
3	12V
5	15V
7	20V

图 2. 依托预编程 USB PD 控制器的 ADCIN 引脚，设计人员可通过简单的电阻分压器设置来配置最大和最小电压以及电流接收能力。来源：德州仪器 (TI)

协商功率合约并匹配系统功率要求

在将产品转换为 USB PD 设计之前，务必了解 USB PD 生态系统的限制和要求。在电缆的源端，USB PD 电源将为系统供电，但使用产品的人员可以连接任意 USB PD 适配器或其他电源。您需要考虑为系统提供全功率所需的功率合约。此外，请考虑如果适配器的功率过低，系统将如何运行。

对于低于 20V 的电压，流经 USB Type-C 电缆的可用电流限制到 3A，对于 20V 及更高的电压，可用电流限制到 5A。此外，USB PD 电源只需要生成在最大允许电缆电流下提供额定功率所需的最低电压。例如 45W 适配器通常提供 15V 的最大输出电压，因为 45W 除以 3A 的结果为 15V。

如果您的系统设计为采用 15V 电源运行，但需要 50W 功率，这该怎么办？在此情况下，您需要配置端口控制器以接受更高的电压合约（例如 20V），从而确保有充足功率运行系统，并需要保障系统可处理这一稍高的输入电压。除了添加 USB Type-C 连接器和端口控制器之外，还需要对产品进行细微修改。另外，您通常仍然希望产品在连接到功率容量不足的 USB PD 电源时能够正常工作，但运行性能水平可能会降低。

设计示例

假设一款产品需要以 27W 的功率为 4 至 7 节电池充电，且产品之前通过 15V 桶形插孔供电。本例使用了降压或升压转换器，因为电池电压可能高于或低于 15V 输入，具体取决于充电状态。将此设计转换为 USB PD 输入只需一个简单的独立式 USB PD 控制器（例如 TPS25730）和降压/升压电池充电器。图 3 显示了系统架构。从图中可知，将桶形插孔转换为 USB PD 端口只需几个元件。通过 ADCIN4 引脚连接到 ADCIN1 的简单电阻器可设置功率曲线，无需任何固件开发工作。在此情况下，即使可用功率降低，产品仍必须使用 5V 电源充电，因此 TPS25730 配置为 20V 最大电压和 5V 最小电压，工作电流设置为 3A。

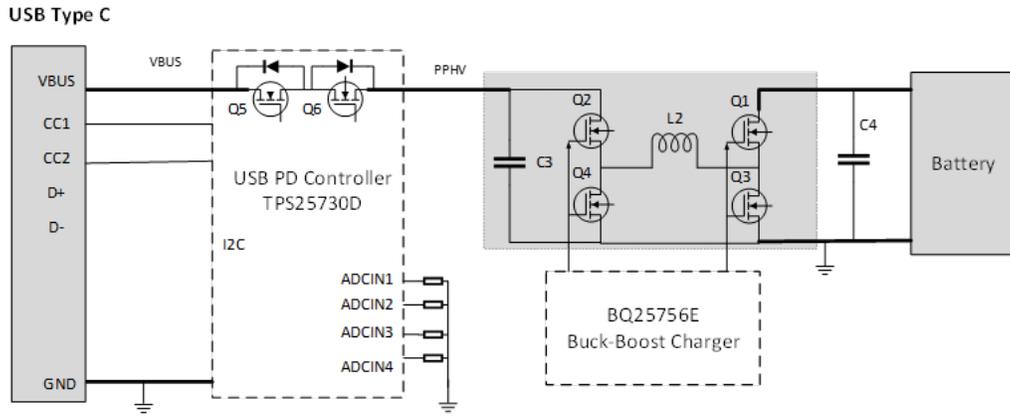


图 3. 27W USB PD 仅受电充电器参考设计方框图。来源：德州仪器 (TI)

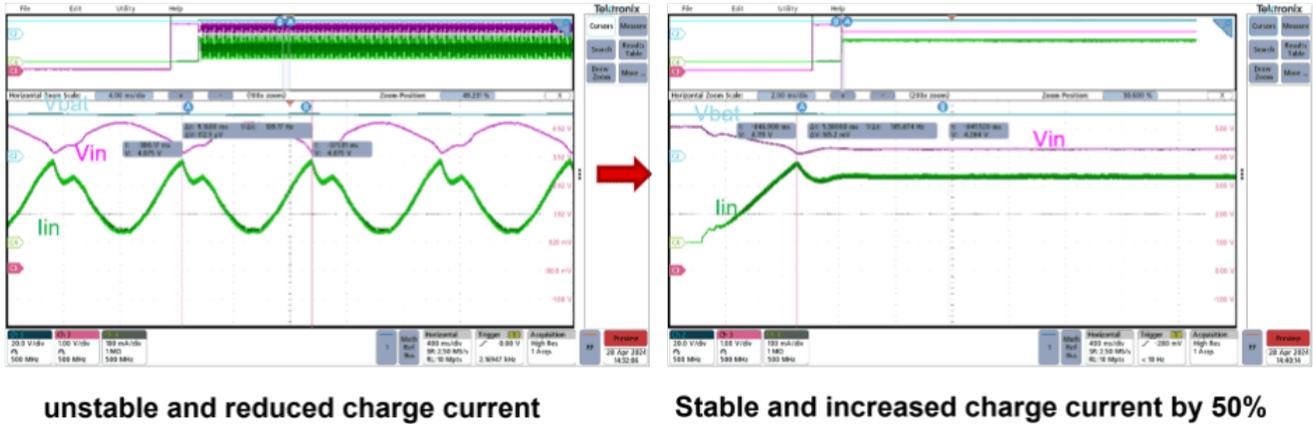
输入电压动态电源管理

除了支持 USB PD 源输入外，该设计还应支持旧有的 USB 输入源，例如 5V 和 2A。为避免输入功率受限输入电压崩溃，BQ25756E 提供了输入电压动态电源管理功能，当输入电压降至参数 V_{in_dpm} 设定值时，该功能将降低充电电流。 V_{in_dpm} 应设置为略低于输入电压减去通过电缆和电源路径压降的值，以便在显著增大电池充电电流的同时，不会导致输入源过载或输入总线不稳定。

图 4 显示了使用 1 米 USB 电缆 (0.25 Ω 电阻) 从 5V/2A 电源充电的实验结果。当将 V_{in_dpm} 设置为 4.75V 时，可以看到输入充电电流受限并且不稳定 (图 4 的左边部分)。如果正确配置，将 V_{in_dpm} 设置为 4.35V 以补偿电阻压降，输入电压保持稳定并且充电电流提升 50%，这将显著缩短充电时间。

$V_{in_dpm}=4.75V, I_{CHG}=0.21A @5V/2A$ Source

$V_{in_dpm}=4.35V, I_{CHG}=0.33A @5V/2A$ Source



unstable and reduced charge current

Stable and increased charge current by 50%

图 4. 使用 1m USB 电缆通过 5V/2A 电源充电时的输入动态电源管理。来源：德州仪器 (TI)

USB PD 实现方式

无需深入了解 USB PD，采用简化的 USB PD 控制器和电池充电器架构即可。不仅无需使用额外的 MCU 和 EEPROM (且无需开发固件)，还可仅通过一个简单的电阻分压器来配置电压和电流接收能力，助力快速将桶形插孔转换为 USB Type-C 输入。有关本文所重点介绍的示例设计完整详情，请查看适用于 4 至 7 节电池的 27W USB 电力输送仅受电充电器参考设计。

相关内容

- [电源技巧 129](#)：在 1000V 反激式转换器中驱动高压硅 FET
- [电源技巧 128](#)：设计高压直流母线电容器的有源预充电电路
- [电源技巧 75](#)：适用于汽车系统的 USB 电力输送
- [USB](#)：解析信号、连接器和电力输送的差异
- [USB 电力输送](#)：兼容性问题导致的瑕疵和故障

先前已发布于 [EDN.com](#) 上。

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

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