

---

## 设计人员在为产品添加 **USB Type-C™** 连接时需要了解的信息

作者 Daniel Leih

在过去的几年里，有许多文章都对 **USB-C** 连接器的优点交口称赞。除了它的万兆每秒（**Gbps**）带宽和交替模式视频功能之外，还有两个非常有价值的优点：可正反插的插头和智能大功率功能。可正反插的插头的价值显而易见：我们终于可以轻松接入设备，而不必翻转插头（通常需要两次）。然而，智能电源的存在让 **USB-C** 连接器变得非常实用。

**USB** 始终可以持续供电（只需要 **5V** 电压和小于 **1.5A** 的电流即可满足需求）。由于之前的 **Type-A** 和 **Type-B** 的外形尺寸限制，使其只能为小型电子设备（如 **U** 盘或键盘）供电，或者为手机等涓流充电设备供电。随后推出了 **USB-C** 这种新供电（**PD**）标准，它允许发送方和接收方在 **5** 至 **20V** 的电压下协商最高 **100W** 的功率输出。这意味着，只需一个小小的 **USB-C** 插头便可为更多产品供电，包括外部存储设备、电话、个人电脑、电动工具、医疗设备和无数其他产品。利用 **100W** 的输出功率，您安装在电动汽车里的几乎任何设备都可以用 **USB-C** 端口充电（遗憾的是，汽车本身不行）。

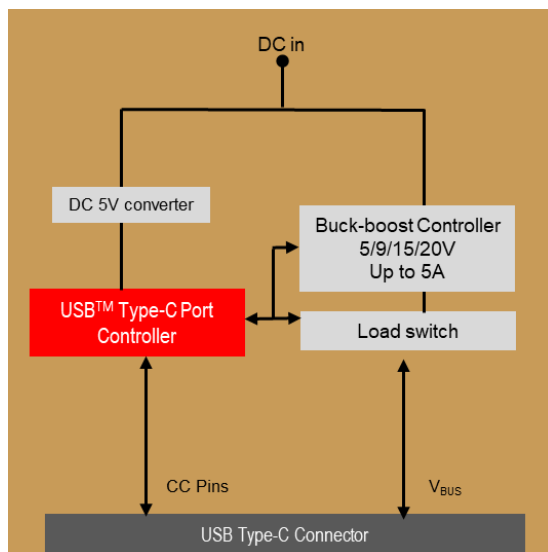
如今，个人电脑和手机行业已在许多批量生产的终端系统中迅速采用 **USB-C**。最值得注意的是，**iPhone** 支持通过 **Lightning** 连接器供电，而安卓手机则在大多数新机型中采用了 **USB-C** 连接器供电。最初的 **USB-C** 和供电的设计十分复杂，涉及许多外部组件和软件配置工具。如今，半导体行业中新产品的发展从 **USB-C** 的设计中可见一斑。那么，现在将 **USB-C** 添加到您的产品中需要做什么呢？

### **USB-C PD 设计需要什么？**

在产品设计中，第一步都是定义所需的功能集。在具有供电的 **USB-C** 系统中尤其如此，因为支持 **PD** 功能会直接影响系统成本。**PD** 本身增加了系统的成本，因此最终产品必须从供电功能中获益，以确保成本的合理性。

**USB-C** 用途广泛，并且支持除 **USB** 之外的其他数据类型，因此需要了解整个系统才能选择合适的 **USB-C** 组件。如果产品是存储设备或电池充电器，则无需为系统增加实现交替模式视频所需的成本和固件。相反，如果系统是连接到支持 **DisplayPort** 的笔记本电脑的显示器，则必须在设计中包含特定的端口控制器和组件。因为 **USB-C** 端口元件包括 **PD/USB** 协议、数据和电源，因此系统解决方案将包括 **USB-C** 供电端口控制器和模拟及电源组件。

一个最简单的 **USB-C** 应用是纯充电端口。在这种情况下，系统的设计目的是为与其连接的设备供电和/或充电。这类系统的一个例子是汽车上的后排充电口、电动工具电池或房屋里的壁式充电器。



DC in	直流输入
DC 5V converter	直流 5V 转换器
Buck-boost Controller 5/9/15/20V Up to 5A	降压-升压控制器 5/9/15/20V, 最高 5A
USB™ Type-C Port Controller	USB™ Type-C 端口控制器
Load switch	负载开关
CC Pins	CC 引脚
V <sub>BUS</sub>	V <sub>BUS</sub>
USB Type-C Connector	USB Type-C 连接器

图 1: 作为纯充电电源的 USB-C 端口框图

在本例中，实现系统所需的主要“物料清单”（BOM）组件列表相对较短：

- USB-C 端口控制器——协商连接和电源协议。
- 直流/直流转换器——将输入电压转换成 PD 协议需要的 Vbus 电压。
- 负载开关——在插入时向 Vbus 提供 5V 电压，在建立 PD 协议后，连接适当的 Vbus 电压。有时会与直流/直流转换器结合使用。
- LDO——调节端口控制器的电压，因为直流/直流可能需要提供 5 至 20V 的电压。
- USB-C 接口

本例中端口控制器的选择要求控制器能够处理其与连接设备之间的所有协议。现代独立控制器（如 Microchip 提供的控制器）至少包括以下功能：

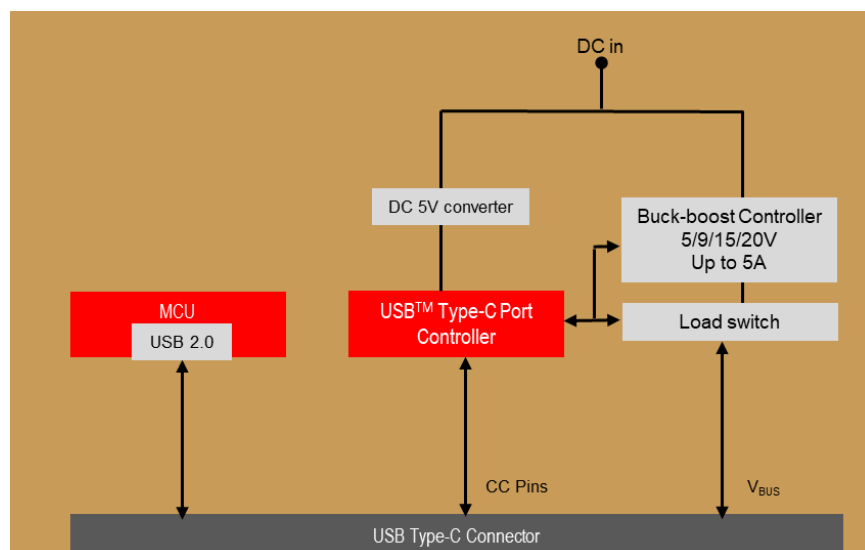
- 支持连接检测和控制的 USB-C 连接器
- 符合 USB 供电规范 3.0 的 MAC
- 预编程供电固件
- 支持所有标准供电配置文件（15/27/45/60/100W）

- 集成降低 BOM 成本和设计复杂性的精选模拟组件。连接所需的示例包括：
  - 支持 Rp/Rd 切换的 VCONN FET
  - 电量耗尽 Rd 端接
  - 针对过流情况的可编程电流检测功能
  - 针对过压情况的电压检测功能
- 适用于应用的温度支持

因为这是一个纯充电的示例，因此不需要其他系统控制器。虽然有些供应商提供可编程器件，但纯充电解决方案的逻辑选择是预编程产品，没有软件要求，系统配置通过简单的器件配置脚（接地或 Vcc 连接）完成。只要控制器符合 PD 3.0 标准，用户就可以访问所有标准电源配置文件：15W/27W/45W/60W/100W。

对于直流/直流转换器，转换器类型的选择主要取决于输入电压。电源必须始终能够提供 5 至 20V 的输出电压，才能完全符合 PD 标准。对于具有 24 VDC 输入或电压大于 20 VDC 的系统，基本降压拓扑结构可以提供经济高效的解决方案。对于低压直流或离线交流供电系统，则需要采用其他拓扑结构。

图 2 给出了一个针对图 1 的修改示例。在这种情况下，设计人员选择了为数据传输提供 USB2 主机支持，因为其现有产品采用了一个原生支持 USB2 的单片机。请注意，端口控制器不需要任何与 USB2 数据路径的连接。无需额外组件，USB-C 端口 BOM 与纯充电解决方案相同。如果 MCU/系统控制器支持 USB3，也可以通过简单添加 USB3 多路复用器来添加 USB3（支持 USB-C 插头的正反插）。在本例中，使用独立的 USB-C 预编程端口控制器也是将单个 USB-C 端口添加到现有产品中的最简单解决方案。

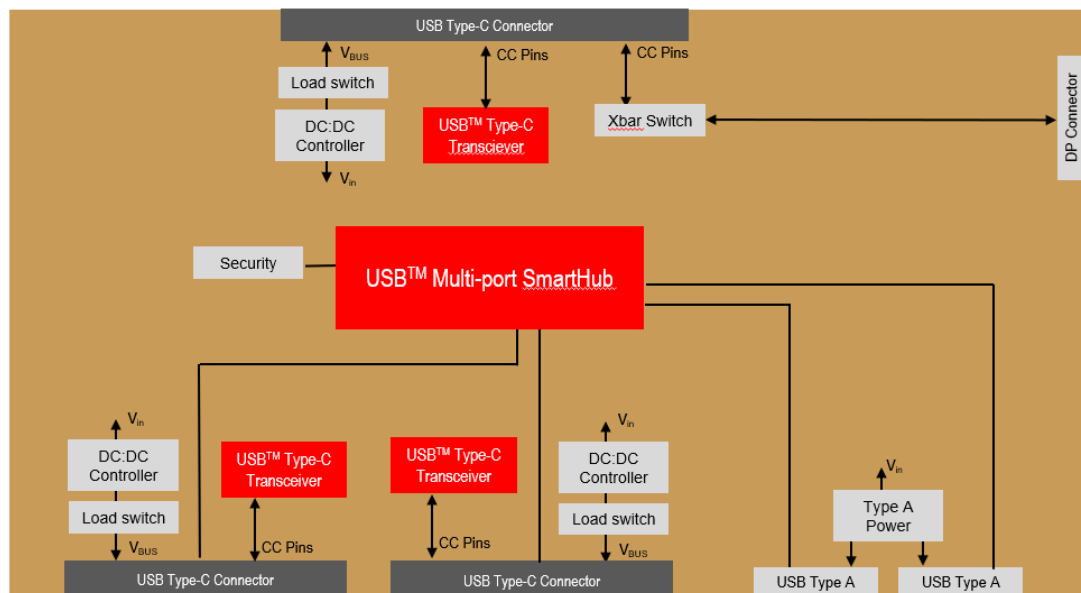


DC in	直流输入
DC 5V converter	直流 5V 转换器
Buck-boost Controller 5/9/15/20V Up to 5A	降压升压控制器 5/9/15/20V, 最高 5A
MCU	MCU

USB 2.0	USB 2.0
USB™ Type-C Port Controller	USB™ Type-C 端口控制器
Load switch	负载开关
CC Pins	CC 引脚
V <sub>BUS</sub>	V <sub>BUS</sub>
USB Type-C Connector	USB Type-C 连接器

图 2: 作为电源的 USB-C 连接框图 (包含 USB2 数据)

USB 性能架构的顶端是基于集线器的系统, 如图 3 所示。基于集线器的设计提供了所有 USB 架构中最高的灵活性和性能, 同时减轻了中央处理器的通信负担。这种类型的系统通常用于个人电脑坞站和显示器、汽车中心控制台以及任何需要多个 USB 连接的场合。和前面的示例一样, 这种设计的第一步是确定功能集。在个人电脑使用案例中, 视频信号很可能通过 USB-C 端口传输, 这需要支持交替模式功能。因此, 与上述纯充电或充电加 USB 数据示例相比, 此示例的端口控制器必须能够支持交替模式功能, 并且系统必须包含所需的电路, 以管理通过交替模式通道传输的协议的方向和解析。



USB Type-C Connector	USB Type-C 连接器
V <sub>BUS</sub>	V <sub>BUS</sub>
CC Pins	CC 引脚
CC Pins	CC 引脚
Load switch	负载开关
DC:DC Controller	直流:直流控制器

USB™ Type-C Transceiver	USB™ Type-C 收发器
Xbar Switch	Xbar 开关
V <sub>in</sub>	V <sub>in</sub>
DP Connector	DP 连接器
security	安全性
USB™ Multi-port SmartHub	USB™ 多端口智能集线器
V <sub>in</sub>	V <sub>in</sub>
DC:DC Controller	直流:直流控制器
USB™ Type-C Transceiver	USB Type-C 收发器
Load switch	负载开关
V <sub>BUS</sub>	V <sub>BUS</sub>
CC Pins	CC 引脚
USB Type-C Connector	USB Type-C 连接器
Type A Power	Type A 电源
USB Type A	USB Type A

图 3: 基于 USB 集线器的基础架构, 支持 Type-A 端口、Type-C 端口和交替模式

该系统中使用多端口“智能集线器”, 可为设计人员提供更高效率的系统级设计。虽然设计人员可以轻松购买一个功能更丰富的端口控制器并将功能分开, 但使用集线器中的控制器作为端口控制器可以降低成本与处理开销。这在多端口系统中尤其如此, 在这些系统中, 数据移动或功率使用的协调非常重要。

此示例阐述了端口控制的一个改进形式, 随着越来越多的控制器和处理器中带有 USB-C 功能, 这种形式变得越来越普遍。所有 USB-C 控制功能(如端口策略管理、供电、交替模式支持和布告栏支持)都位于集线器内。在这种架构中, 独立端口控制器被收发器取代, 收发器包含 USB-C 接口的物理层, 类似于以太网的设计方式。

为了支持交替模式功能, 该设计包含一个外部交叉开关多路复用器, 可将视频数据重定向到 DP 连接器以支持外部显示器。该系统还展示了当今系统中常见的 USB-A 和 USB-C 连接器的实际组合。

为了解决当前对数据和网络安全日益关注的问题, 该设计还包含一个安全 IC, 允许对系统固件进行安全更新。Microchip 的 ECC608A 等高度安全器件允许设计人员通过使用 NIST、SHA-256 和 HMAC 散列以及 AES-128 加密来确保代码的安全性, 甚至连制造商也不知道所有者的密钥。

上述系统 BOM 示例的新增内容包括:

- USB 多端口智能集线器——包含控制器和多个 USB 连接。
- 交叉开关多路复用器——将各种数据通道转移到不同的位置。
- DP 连接器——连接到视频显示器。
- Type-A 连接器
- Type-A 电源

- 安全 IC——允许更新集线器的安全代码。
- 每个端口的 USB-C 收发器
- 每个 USB-C PD 端口的直流/直流转换器

使用具有集成供电的 USB 智能集线器还可以实现其他系统级功能。包含 HostFlex 技术的高级系统（其中任何 Type-C 端口都可以成为系统主机）让用户无需考虑连接的端口即可接管显示和输出功能，从而提供了更高级别的灵活性和功能。利用功率平衡，还可以通过了解系统可用的总功率并执行用户定义的功率分配算法来提高系统的灵活性。用户可以根据连接顺序、设备类型、连接的设备数量或这些条件的某些组合来决定是否供电。实现这些功能的技术是 Microchip 智能集线器，它可协调所有并行 USB-C PD 端口连接的平台级管理。在 Computex 2018 上，Microchip 展示了可在带有集成 PD 的最新系列 USB 3.1 多端口智能集线器上实现的系统级功能，如 HostFlex、多主机（并发主机功能）和功率平衡。

## 总结

USB-C 是一种最终使多种类型的数据和多种功率级别在单个连接器中共存的连接器。使用智能集线器设计可以轻松实现 HostFlex 和功率平衡等高级系统功能，而基本充电电路可以通过简单和可配置的端口控制器来实现。未来的设备将继续提高集成度并降低实现难度。

设计人员不必为将 USB-C 添加到其设计中的任务担心，因为半导体公司（如 Microchip）正在生产独特且功能强大的端口控制器、收发器和配套的直流/直流转换器，以及简化设计工作和降低风险所需的支持。

## 参考资料

- Microchip SmartHub IC 设计中心: <https://www.microchip.com/design-centers/usb/product-families/smarthub>