

USB Type-C® 和 USB Power Delivery 应用和要求初探



Nate Enos

德州仪器 (TI)
北美销售和市场营销部
模拟现场应用

Brian Gosselin

德州仪器 (TI)
北美销售和市场营销部
模拟现场应用

The TI POWER logo, with 'TI' in a large, bold font and 'POWER' in a smaller, bold font, with four red dots below 'TI'.

TI POWER

USB Type-C® 连接器生态系统随着现代平台和设备需求的变化而不断发展。

内容概览

本白皮书对 USB Type-C 和 USB Power Delivery (PD) 进行了介绍, 并对其各种应用以及数据和电源要求进行了探讨。

1 数据和电源角色

就 USB Type-C 规范而言, 终端设备中典型的数据和电源角色会发生变化。

2 USB 3.1 第 1 代(超高速) 和第 2 代(超高速+)

要求传输速率高于 480Mbps 的应用将需要利用 USB 3.1 第 1 代(超高速) 或第 2 代(超高速+)。

3 USB Type-C 引脚排列和可逆性

与 USB Type-A 和 Type-B 连接器相比, USB Type-C 连接器包含几个新引脚。

USB Type-C 连接器生态系统可满足现代平台和设备不断变化的需求, 并且符合更小、更薄且更轻便的外形设计趋势。此外, 针对 Type-C 连接器修改 USB PD 有助于满足高耗电应用的需求。

简介

您可能听说过 USB Type-C 的可逆电缆。不过, 当您考虑特定系统的要求时, 您可能不确定哪些是“必须满足”, 而哪些仅仅是“最好满足”。在本白皮书中, 我们将介绍最基本的 USB Type-C 应用, 然后进一步介绍功能完备的 USB Type-C 和 USB PD 应用。首先, 我们回顾一下 USB 数据从 USB 1.0 开始一直到 USB 3.1 第 2 代的演变进程。

表 1 列出了每个 USB 数据传输相关规范的最大传输速率。USB 1.x 标准是最早版本, 支持 1.5Mbps (低速) 和 12Mbps (全速), 后来发展的 USB 3.1 第 2 代标准支持 10Gbps (超高速+)。

规范	数据速率名称	最大传输速率
USB 1.0 和 USB 1.1	低速	1.5Mbps
	全速	12Mbps
USB 2.0	高速	480Mbps
USB 3.0	超高速	5Gbps
USB 3.1	超高速+	10Gbps

表 1.USB 规范以及最大电压、电流和功率。

表 2 显示了 USB 功率从 USB 2.0 开始一直到 USB PD 3.0 的演变过程。总体趋势是随着平台和设备的需求不断增长, 最大功率不断增加。在不使用 USB PD 的情况下, 仅通过 USB Type-C 最高可以支持 5V 电压 (电流为 3A, 功率为 15W)。不过, 在使用 USB PD 时, 在 USB Type-C 生态系统中最高可以支持 20V 电压 (电流为 5A, 功率为 100W)。

规范	最大值电压	最大值电流	最大值功率
USB 2.0	5V	500mA	2.5W
USB 3.0 和 USB 3.1	5V	900mA	4.5W
USB BC 1.2	5V	1.5A	7.5W
USB Type-C 1.2	5V	3A	15W
USB PD 3.0	20V	5A	100W

表 2.USB 规范以及最大电压、电流和功率。

数据和电源角色

USB 连接中有三种类型的数据流:

- **下行端口 (DFP)** 向下游发送数据; 它通常是设备所连接的主机或集线器上的端口。DFP 将为 VBUS 供电 (主机与设备之间的电源路径), 还可以为 VCONN 供电 (为电子标记的电缆供电)。包含 DFP 的典型应用是集线站。
- **上行端口 (UFP)** 连接到主机或集线器的 DFP, 接收设备或集线器上的数据。这类端口通常从 VBUS 中取电。包含 UFP 的典型应用是显示监视器。
- **双角色数据 (DRD)** 端口可以用作 DFP (主机) 或 UFP (设备)。此类端口在连接时的电源角色决定了其初始角色。源端口承担 DFP 的数据角色, 而接收端口承担 UFP 的数据角色。不过, 通过使用 USB PD 数据角色交换功能, 可以动态地

更改此类端口的数据角色。包含 DRD 端口的典型应用是笔记本电脑、平板电脑和智能手机。

USB 连接中有三种类型的功率流：

- 接收端口是在连接时消耗 VBUS 功率的端口，接收端口设备通常是用电类设备。接收端口应用包括 USB 供电灯或风扇等 USB 外设。
- 源端口是在连接时通过 VBUS 供电的端口。常见的源端口是主机或集线器 DFP。典型的源端口应用是 USB Type-C 便携式充电器。
- 双角色电源 (DRP) 端口可以用作接收端口或源端口，并且可以在这两种状态之间进行切换。当 DRP 最初用作源端口时，该端口承担 DFP 的数据角色。或者，当 DRP 最初用作接收端口时，该端口承担 UFP 的数据角色。不过，通过使用 USB PD 电源角色交换功能，可以动态地更改 DRP 端口的电源角色。例如，一台笔记本电脑可能包含一个 DRP 端口，该端口可以接收功率，为笔记本电脑的电池充电；也可以提供功率，为外部附件充电。此外，DRP 端口有两个特殊的子类型：
 - 源设备，该类型的端口能够提供功率，但无法用作 DFP。该子类型的一个示例是兼容 USB Type-C 和 USB PD 的监视器，它能够接收来自笔记本电脑 DFP 的数据，但无法为笔记本电脑充电。
 - 接收主机，该类型的端口能够消耗功率，但无法用作 UFP。示例包括集线器的 DFP，它能够向附件发送数据，同时能为该附件供电。

下面的图 1 重点介绍了常见的终端设备及其典型的数据和电源角色（就 USB Type-C 规范而言）。

USB Type-C UFP 接收端口：不带 USB PD 的 USB 2.0

较为简单和常见的应用是不带 USB PD 的 UFP USB 2.0 ($\leq 15W$)。常见的应用包括当今任何不需要超快速传输数据且由 USB 供电的设备，例如鼠标、键盘、可穿戴设备或其他小型电子设备。图 2 重点展示了 USB Type-C UFP USB 2.0 所需的模块。

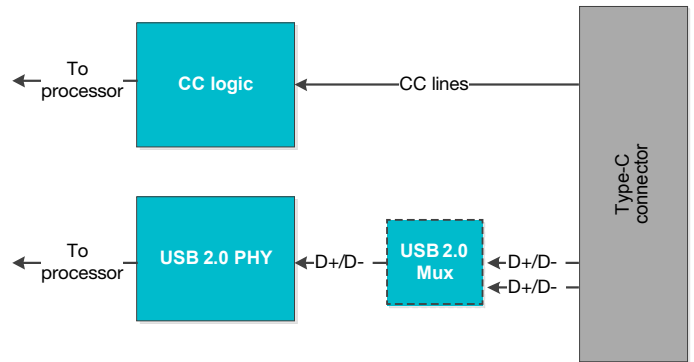


图 2. 不带 PD 的 Type-C UFP USB 2.0 方框图。

在这里，我们假设您了解 USB Type-C 连接器的引脚排列以及可逆性的工作原理；如果您不了解相关知识，请参阅图 13。请注意，USB 2.0 物理层 (PHY) 与以前具有 Type-A 或 Type-B 连接器的 USB 2.0 设计是相同的。它充当从 USB D+ 和 D- 线到 USB 2.0 收发器宏单元接口 (UTMI) 加引脚接口 (ULPI) 的数据的物理层，便于应用处理器进行管理。

USB 2.0 PHY 通常集成在处理器或微控制器中；不过，也有分立式 PHY，用于在设计中集成 USB 功能。USB Type-C 规范中引入的配置通道 (CC) 逻辑块提供电缆检测、电缆方向和载流能力。

- 当两条 CC 线之一下拉时，发生**电缆检测**（请参阅图 3）

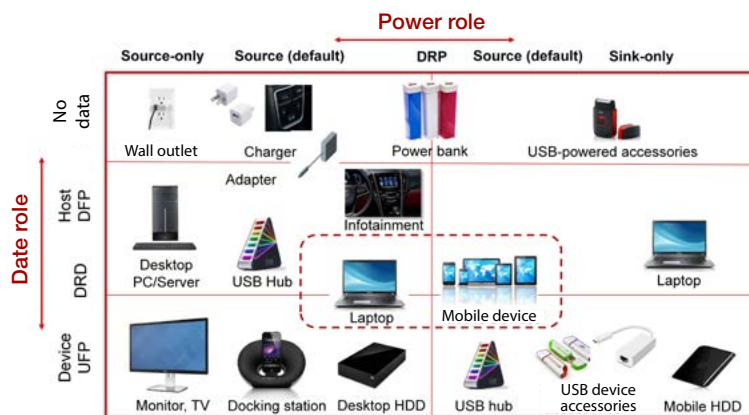


图 1. USB Type-C 版本 1.2 示例应用。

。DFP 会通过电阻器 R_p 将其两个 CC 引脚上拉, 而 UFP 会通过电阻器 R_d 将其两个 CC 引脚下拉 [1]。DFP 检测到其 CC 线之一被下拉后, DFP 就知道已连接已建立。

- **电缆方向**取决于下拉的 CC 线(如果 CC1 下拉, 则电缆不翻转;但如果 CC2 下拉, 电缆会翻转)。对于无源电缆, 另一条 CC 线保持打开状态;对于有源电缆, 另一条 CC 线将通过 R_a 下拉。
- R_p 的值决定**载流能力**。USB Type-C 本身支持 1.5A 或 3A 的电流。DFP 可以通过一个具有特定值的上拉电阻器来广播其载流能力。UFP 包含一个具有固定值的下拉电阻器 (R_d), 能够在连接时与 R_p 一起形成一个分压器。通过感应分压器中心抽头处的电压, UFP 可以检测到 DFP 的广播电流。

最后一个模块是 USB 2.0 多路复用器(通常称为高速多路复用器)。图 2 中的虚线轮廓表示 USB Type-C 规范不需要的可选模块。要了解多路复用器的用途, 就必须了解电缆翻转如何影响数据流。在 USB Type-C 插座中, 单个 USB 2.0 数据通道有两对 D+/D- 线。在一个方向上, 数据沿着一对 D+/D- 线流动。在相反的方向上, 数据沿着另一对 D+/D- 线流动。USB Type-C 规范允许将这两对 D+/D- 线短接在一起(D+ 接 D+, D- 接 D-), 以产生一个线头。尽管这不是必需的, 但有些设计人员会选择在其系统中包含一个 USB 2.0 多路复用器, 以提高信号完整性。

德州仪器 (TI) 为具有 USB 2.0 数据但不具有 USB PD 的 UFP 应用提供各种**器件**。TI 提供的这些器件为 CC 逻辑提供了紧凑的解决方案, 该解决方案可以提供电缆检测、方向和载流能力。

USB Type-C DFP:不带 USB PD 的 USB 2.0

另一种简单且常见的应用是不带 USB PD 的 DFP USB 2.0, 如图 4 所示。一个示例是 5V 交流/直流适配器。

图 4 展示了不带 USB PD 的 USB Type-C DFP USB 2.0 所必需的模块。请注意该图与图 2 的相似之处, 其中增加了一些额外的模块, 但 CC 逻辑块仍然是相同的。对于 DFP, 设备提供 R_p 并监测由 R_d 引起的下拉。 R_p 检测到下拉后, DFP 知道设备已连接并提供 5V 电压。与始终提供 5V 电压不同, USB Type-C 中采用了一项新功能, 即仅在检测到设备之后才在 VBUS 线上提供 5V 电压(冷插拔)。

USB 2.0 ULPI PHY 与前一节中的相关内容相同。对于不传输数据的应用(例如 5V 壁式适配器), 您可以在设计中省略

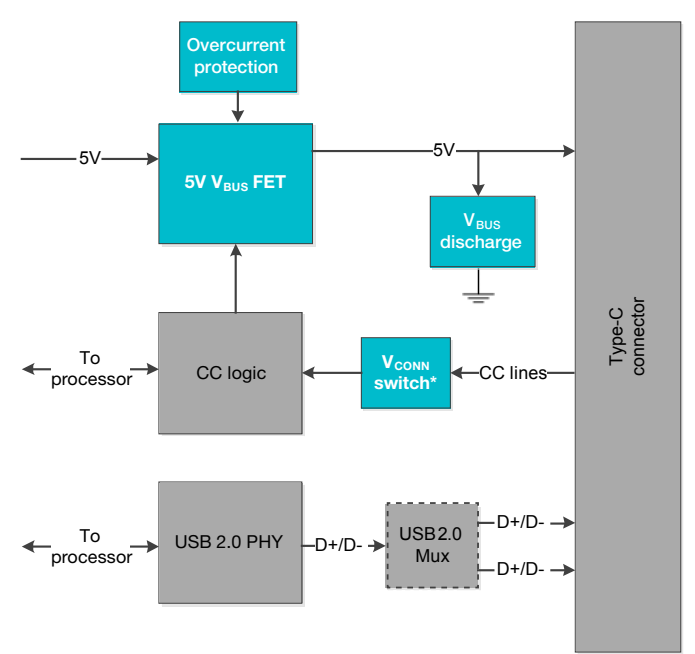


图 4. 不带 USB PD 的 USB Type-C DFP USB 2.0 方框图。

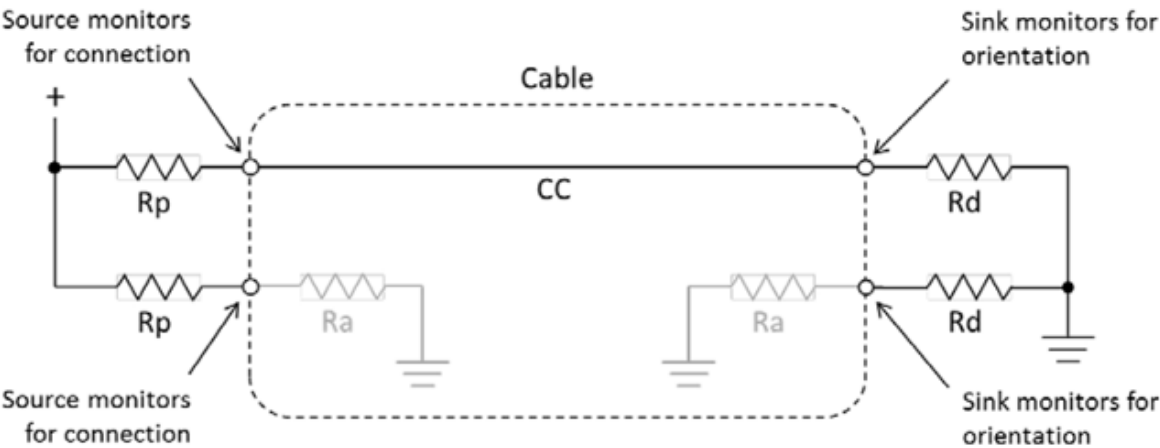


图 3. CC 逻辑上拉和下拉终端。(来源:USB Type-C 规范版本 1.2, 图 4 和图 5 上拉/下拉 CC 模型)

USB 2.0 ULPI PHY。由于 USB Type-C 实现了冷插拔, 因此图 4 中添加了一个 5V VBUS 场效应晶体管 (FET)。因此, 设计中需要采用一个用于 5V 电压轨的开关。

此外, USB Type-C 规范要求所有源端口监测电流并在接收端口试图消耗超出源端口提供能力的电流时保护自身 [1]。此时过电流保护模块就发挥了作用。这两个模块可以集成到负载点电源转换器中, 也可以集成到 USB Type-C 设备中。

图 4 还包含 VBUS 放电模块。在未连接任何设备时, VBUS 应该保持 0V。USB Type-C 规范要求源端口在接收端口断开后的 650ms 内对 VBUS 进行放电 [1]。VBUS 放电功能通常集成在 USB Type-C 设备中, 但也可以集成在泄放电阻器中。

通过将 5V 电压切换到未使用的 CC 线上, VCONN 可以为无源电子标记电缆或有源电缆 (支持 USB PD 通信并提供电缆特性表征方法的电缆) 供电 (请参阅附录)。图 3 显示 USB Type-C 电缆中的一条 CC 线将 Rp 连接到 Rd, 而另一条 CC 线悬空 (无源电缆) 或通过 Ra 下拉至接地 (无源电子标记电缆或有源电缆)。

所有支持 USB 3.1 速度或高于 3A 的电力传输的应用都需要 VCONN [1]。如果要支持有源电缆 (例如需要通过集成转接驱动器或重定时器进行信号调节的长距离电缆), 那么也需要 VCONN 开关。

TI 的 USB Type-C 源控制器产品系列非常适合不带 USB PD 的 DFP USB 2.0 数据应用。这些器件包含 CC 逻辑、5V VBUS FET、过流保护、VBUS 放电和 VCONN 开关。如需了解有关这些器件的更多信息, 请访问 TI.com.cn 上的 [USB Type-C 门户](#)。

不带 USB PD 的 USB Type-C DRP/DRD USB 2.0

下面介绍的不带 USB PD 的 USB 2.0 应用是 DRP/DRD。对于不带 USB PD 的应用, DRD 和 DRP 是相同的。一个常见的示例是速度较慢的笔记本电脑端口, 此类端口可以双向发送功率, 进行充电或被充电, 并充当主机或设备。该系统类型的另一个常见应用是平板电脑和智能手机。**图 5** 是更新后的方框图。

相对于图 4 而言, 唯一值得注意的变化是添加了 Rp/Rd 开关。DRP/DRD 可以充当 UFP 或 DFP。因此, 该设计必须具有一种方法, 用于通过 Rp 将 CC 线上拉或通过 Rd 将 CC 线下拉 (无电电池上的默认方式, 用于充电), 如图 6 所示。请注意开关是如何在将 CC 线上拉 (此时应提供电流源以在 Rd 上生成特定的电压) 和将其下拉至 GND 之间切换的。

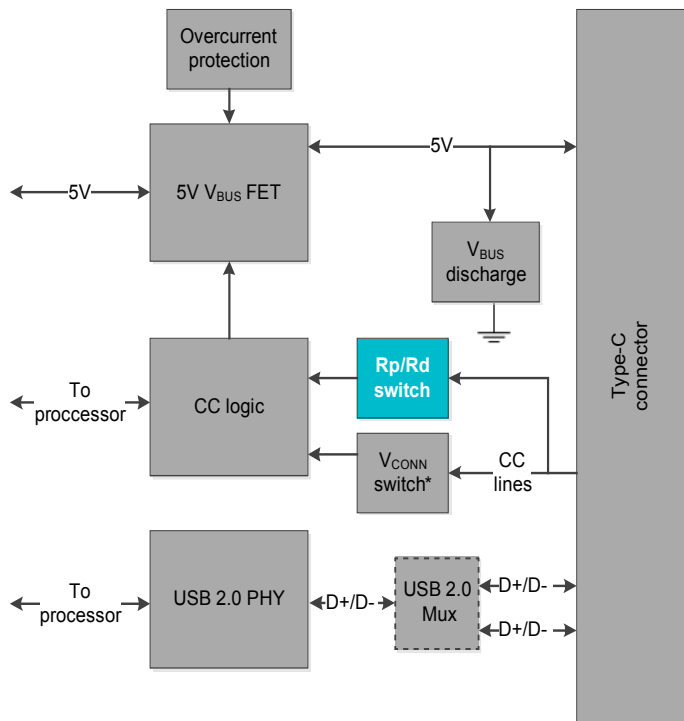


图 5. 不带 USB PD 的 USB Type-C DRP/DRD USB 2.0 方框图。请注意, VCONN 开关并不总是必需的。

TI 提供了各种 [器件](#), 以支持不带 USB PD 的 DRP/DRD USB 2.0 应用。这些器件集成了 CC 逻辑、Rp/Rd 开关以及 VCONN 开关 (取决于器件)。

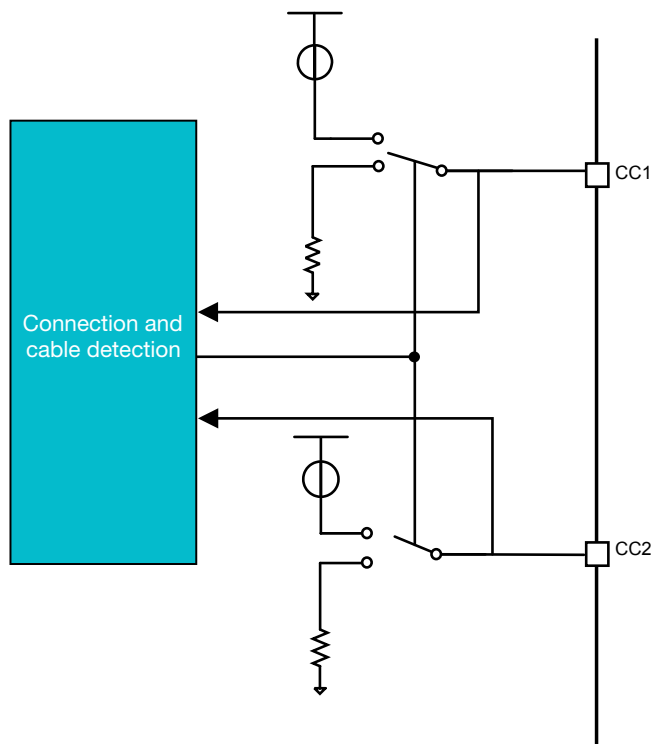


图 6. Rp/Rd 开关原理图。

USB Type-C DRP/DRD:带 USB PD 的 USB 2.0

复杂度越来越高的应用需要采用 USB PD。如简介中所述,具有 USB PD 功能的系统可以支持高达 20V、5A (100W) 的功率水平。通过首先增大 VBUS 上的电压,同时将最大电流保持在 3A,可以实现这一点。在达到 20V 的最大电压之后,您可以最大将电流增加至 5A,如图 7 所示。

在图 7 可以看到:

- 所需的离散电压电平为 5V、9V、15V 和 20V (USB PD 规范 v3.0 对此进行了修改)。
- 电流可能会连续变化,具体取决于所需的功率水平 (电流最大为 3A)。
- 在给定的任何功率水平下,都需要一个源端口来支持以前的所有电压和功率水平。

例如,60W 的源端口必须能够支持电压 20V (电流为 3A)、15V (电流为 3A)、9V (电流为 3A) 和 5V (电流为 3A)。这是 3.0 版 USB PD 规范中的更新结果,用于确保功率较高的电源能够支持功率较低的设备。笔记本电脑和手机的充电器是一个示例。

图 8 突出显示了在 USB PD 应用中发挥作用的四个新模块。先前介绍的 VBUS FET 现在可以处理 5V 至 20V 电压 (离散电平,具体取决于所需的功率水平),并且电流可能高达 5A (同样仅在提供 20V 电压时)。图 8 还显示了为功率更高的 FET 添加的栅极驱动器模块。某些器件集成了大功率 FET 和栅极驱动器,以驱动功率更高的外部 FET (例如 TI 的 USB PD 控制器),而其他器件仅集成了栅极驱动器或两者都未集成。

到目前为止,我们还未讨论方框图中的静电放电保护,因为它与非 USB Type-C 系统有一点不同 (除通道数更多外),即是否具有 VBUS 短路保护功能。与传统的 USB 连接器相

比,USB Type-C 连接器具有更高的引脚密度。因此,VBUS 更容易与相邻的引脚发生短路 (请参阅附录)。由于 VBUS 的电压可能高达 20V,因此 20V 和 5V 线之间可能发生短路 (如边带使用 [SBU]、CC 等等)。为了防止发生这种潜在的灾难性事件,TI 推出了 [USB Type-C 保护集成电路系列](#)。

其他两个新模块是 USB PD PHY 和 USB PD 管理器。这些模块一起通过 CC 线发送数据包,从而实现 DFP 和 UFP 之间的通信。通过这种通信,源端口可以广播其可以支持的功率水平,然后接收端口可以请求某个支持的功率水平。设置功率水平后,电压和电流水平会得到相应的调节。

区分 USB PD 管理器和 USB PD PHY 之间的角色差异很重要;多个 USB Type-C 器件可能包含其中的一个功能,但不包含另一个功能。例如,通用微控制器可以用作 USB PD 管理器,但没有 USB PD PHY。USB PD PHY 的作用是驱动 CC 线,但其本身没有智能。

USB PD 管理器是大脑,其中包含一个复杂的状态机,以支持 USB PD 协商并控制 PHY。(USB PD 管理器还执行交替模式协商。)USB PD 管理器通过告诉 PHY 发送哪些数据包 (例如广播功率水平、请求功率水平和确认通道功率水平) 来实现该功能。有关更详细的说明,请参阅参考 [2]。

重点在于,如果需要 USB PD,则需要使用 USB PD PHY 和 USB PD 管理器。您可以通过使用集成解决方案 (同一器件中具有 USB PD 管理器和 USB PD PHY) 来实现 USB PD PHY 和 USB PD 管理器,也可以在微控制器上实现 USB PD 管理器并使用单独的 PHY (具有 USB Type-C 端口控制器)。

有关实现 USB PD 的 DFP 应用,请访问 TI.com 上的 [USB Type-C 门户](#)。

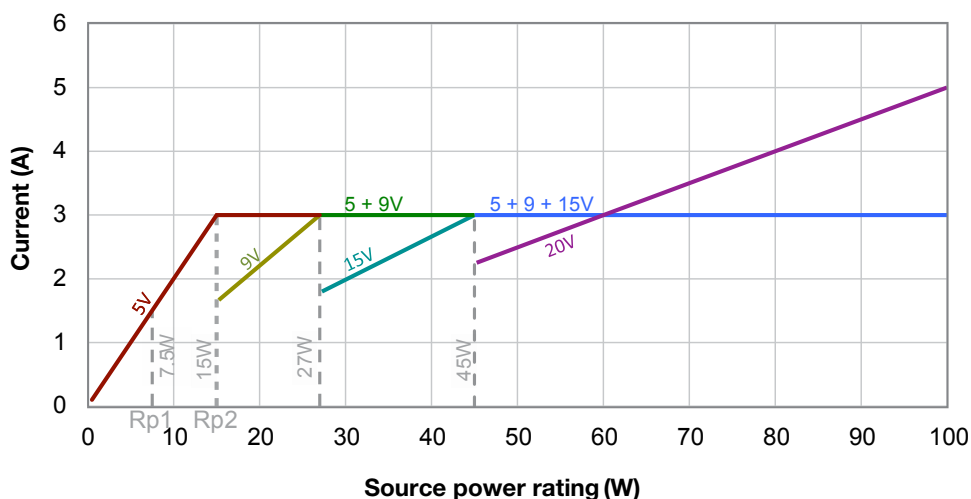


图 7.USB PD 配置 (电源轨和最大电流)。(来源:USB PD 规范版本 3.0 中的图 10-2)

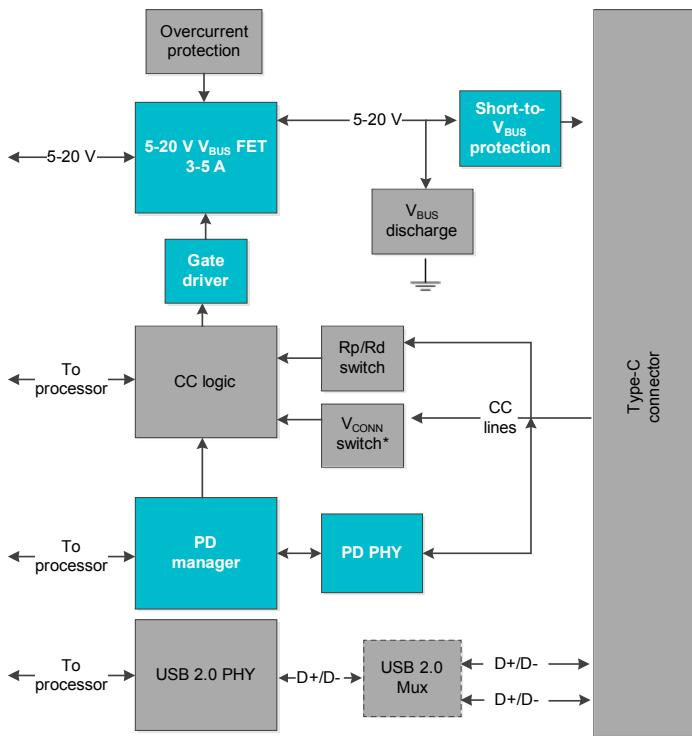


图 8.带 USB PD 的 USB Type-C DRP/DRD USB 2.0 方框图。请注意, VCONN 开关并不总是必需的。

USB 3.1 第 1 代(超高速)和第 2 代(超高速+)

要求传输速率高于 480Mbps 的应用将需要利用 USB 3.1 第 1 代(超高速)或第 2 代(超高速+)。如简介中所述, 超高速支持高达 5Gbps 的数据传输速率, 而超高速+ 支持高达 10Gbps 的数据传输速率。为了在 USB Type-C 应用中实现更高的传输速率, 您需要采用一个适用于 PCI Express (PCIe) (PIPE) PHY (串行高级技术附件和 USB 架构) 的 USB 3.1 PHY 接口和一个支持 USB 3.1 的双向差分开关, 如图 9 所示。

符合 USB 3.1 PIPE 标准的 PHY 在媒体访问控制、开放系统互连模型层和物理媒体之间建立了桥梁。例如, TI 提供了各种符合 PIPE 标准的 USB 3.1 PHY [收发器](#), 这些收发器支持高达 5Gbps 的数据速率。

双向差分开关作为多路复用器或多路信号分离器运行。与 USB 2.0 数据不同, 除直接连接到主机的 USB Type-C 插头 (而不是插座) 之外, 所有应用都需要多路复用器/多路信号分离器 (并非可选)。

一个示例是具有 USB Type-C 插头的 USB 3.1 闪存驱动器, 该插头实际包含在设备中。在该类型的应用中, USB 3.1 数据总线被设计为固定总线, 如图 10 所示。因此, 在 USB Type-C 主机看来, 仅存在两种可能的连接状态。

图 10 显示了一个主机, 该主机需要使 USB 3.1 多路复用器/多路信号分离器路由 USB 3.1 信号对。USB Type-C 电缆的接

线方式使 CC 线与 USB 3.1 信号对保持一致。因此, 主机可以根据哪个 CC 引脚 (CC1/CC2) 端接到插座来配置开关。

所有包含 USB Type-C 插座的 USB 3.1 应用都必须包含 USB 3.1 开关, 因为当您使用 USB Type-C 电缆连接两个 USB Type-C 插座时, 电缆的方向和缠绞方式都没有固定。因此, 在 USB Type-C 主机或设备看来, 存在四种可能的连接状态, 如图 11 所示。

该应用是用于 DFP 还是 UFP 都无关紧要。如果该应用包含 USB Type-C 插座, 则需要使用 USB 3.1 开关来路由发送器 (TX) 和接收器 (RX) 信号对。TI 提供各种[有源和无源多路复用器](#)以满足 USB Type-C 的 USB 3.1 开关需求。

与任何高速接口一样, 某些 USB 3.1 应用可能需要进行信号调节以保持信号完整性。为了满足该需求, TI 提供了各种[USB Type-C 有源多路复用器](#), 其中包含 USB 多路复用器/多路信号分离器以及接收器均衡和发送器去加重功能, 以便在第 1 代和第 2 代数据速率下保持 TX 和 RX 数据路径上的信号完整性。

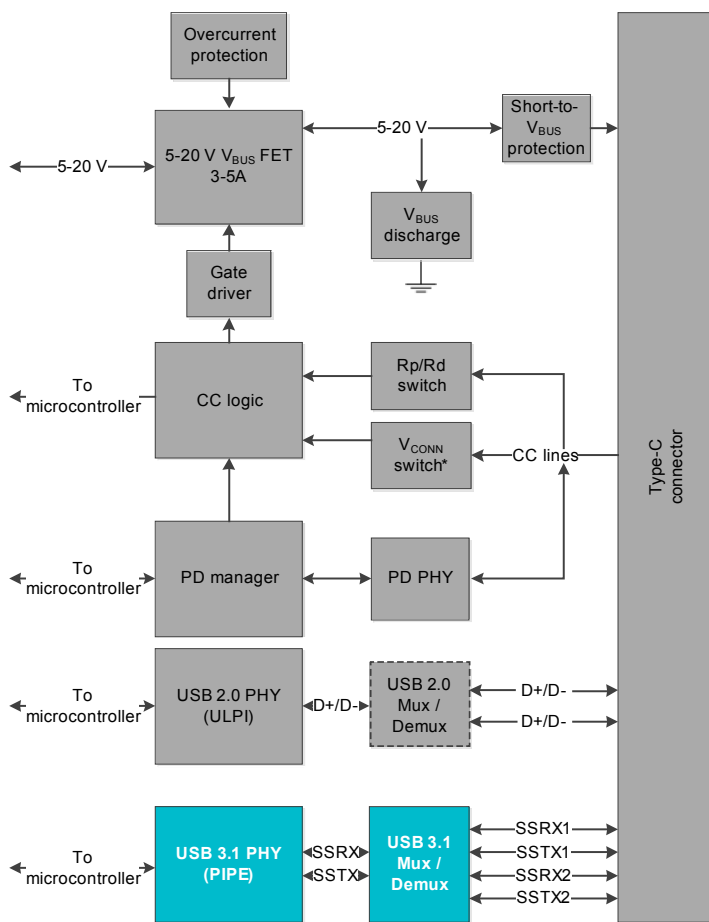


图 9.USB Type-C USB 3.1 方框图。请注意, VCONN 开关并不总是必需的。

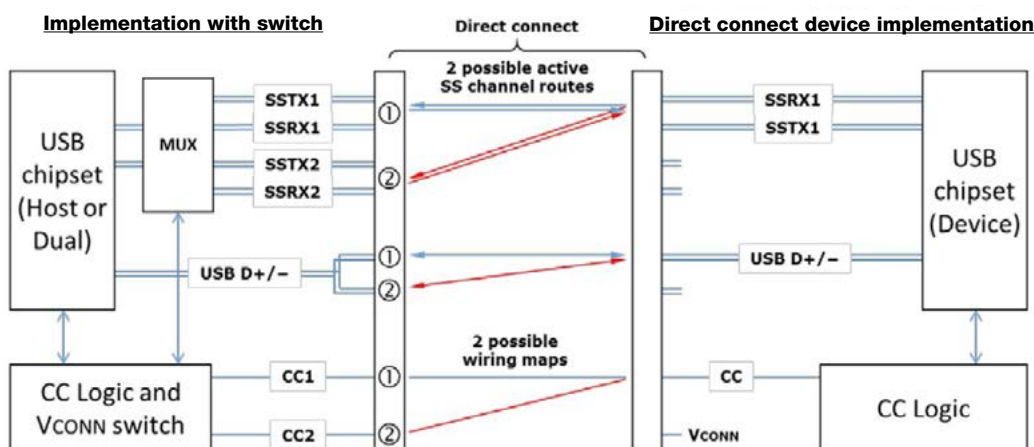


图 10.USB Type-C 插头的 USB 3.1 数据总线直接连接到 USB Type-C 主机。(来源:USB Type-C 规范版本 1.2 中的图 4-4)

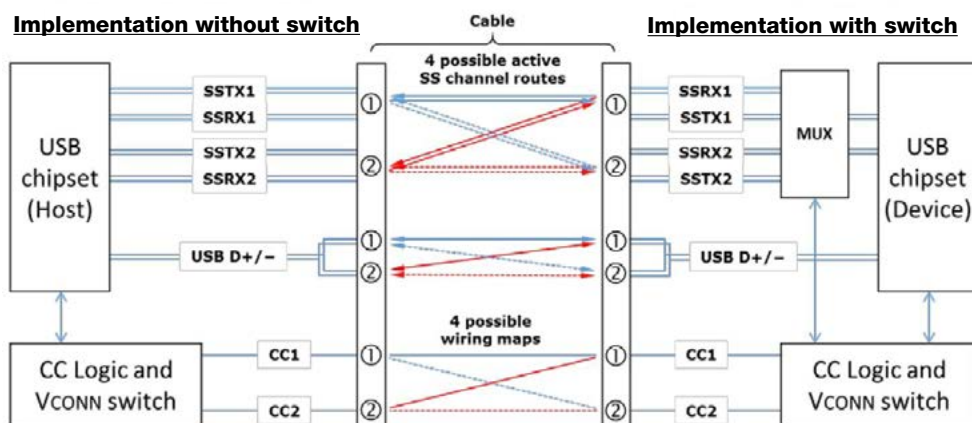


图 11.Type-C 插座的 USB 3.1 数据总线接头连接到 Type-C 插座。(来源:USB Type-C 规范版本 1.2 中的图 4-3)

对于具有 USB PD 的 USB 3.1 应用, TI 提供了完整的解决方案, 其中包含 USB PD 管理器和 PHY、20V 和 3A FET、CC 逻辑以及超高速多路复用器。有关更多详细信息, 请访问 [USB Type-C 门户](#)。

交替模式

USB Type-C 的一项重要优势是几乎能够省去消费类设备 (高清多媒体接口 [HDMI]、DisplayPort/Thunderbolt、电源桶、USB Type-A/B) 中的所有电缆。为此, USB Type-C 需要 USB 3.0 功能之外的其他功能, 这促使 USB Implementers Forum 定义了交替模式。在交替模式下, USB Type-C 引脚 (TX/RX 对和 SBU) 稍加改动以实现不同的功能 [1]。到目前为止, 视频一直是交替模式的主要焦点, DisplayPort 和 Thunderbolt 是通过 USB Type-C 电缆实现视频的两种主要交替模式。

可以通过 USB Type-C 电缆传输 4K 视频, 但前提是必须采用交替模式。请注意, USB Implementers Forum 要求其批准和认证任何交替模式。**图 12** 突出显示了支持交替模式所需的两个新模块。

第一个新模块是交替模式 PHY。例如, 对于 DisplayPort, 您需要一个 DisplayPort 源 (来自图形处理单元)。第二个新模块是交替模式多路复用器。USB Type-C USB 3.0 系统需要使用超高速多路复用器以支持不同的电缆方向。交替模式需要能够支持在交替模式 PHY 中进行开关, 同时仍支持不同的电缆方向。

交替模式和 USB 3.0 多路复用通常集成在单个有源或无源 USB Type-C 交替模式多路复用器中。交替模式所需的其他两个重要的模块是 USB PD PHY 和 USB PD 管理器。可以同时支持 USB PD 和交替模式 (请想象一个接收 HDMI 视频并为连接的笔记本电脑充电的显示器)。

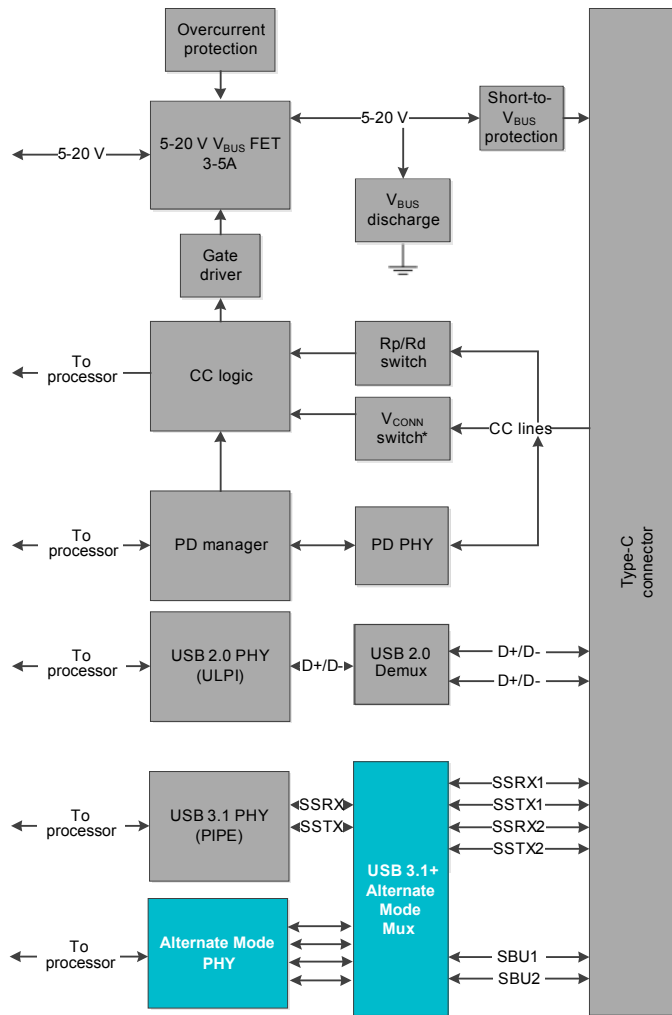


图 12.Type-C 交替模式方框图。*VCONN 开关并不总是必需的, 后文将对此进行讨论。

即使不需要 USB PD 功率水平, 您也必须包含 USB PD PHY 和 USB PD 管理器以支持交替模式, 因为其协商方式与 USB PD 相同(一条通过 CC 线传输的供应商定义消息)。如果没有 USB PD PHY 和 USB PD 管理器, 则系统无法进行广播, 也无法在交替模式下保持稳定。

有关交替模式的最后一点说明是如何处理不兼容的连接。想象用户将其 USB Type-C 笔记本电脑连接到一台 USB Type-C 显示器。该笔记本电脑具有两个 USB Type-C 端口: 一个端口支持 USB PD, 此时 DisplayPort 作为交替模式, 具有 USB 3.1 的速度, 而另一个端口仅通过 USB Type-C 支持 USB 2.0。在这种情况下, 显示器很可能需要启用交替模式, 例如将 DisplayPort 用于视频。如果用户将显示器连接到 USB 2.0 Type-C 端口, 则显示器不会工作。

如果交替模式协商失败, 那么有两种选择:

- 支持不具有交替模式的 USB 功能。
- 通过 D+/D- 线提供 USB 告示板消息, 以发送用于标识设备的信息。显示器发现 USB 2.0 USB Type-C 无法支持

DisplayPort 之后, 将提供一个告示板, 以告知操作系统 (OS) 其需要启用 DisplayPort。此时, OS 可以通知用户使用笔记本电脑上其他功能完备的 USB Type-C 端口, 以支持 DisplayPort [1]。

功能完备、支持交替模式以及 USB PD 和 USB 3.1 的系统非常强大, 但也很复杂。TI 提供了专门满足该需求的解决方案。例如, TI USB PD 控制器集成了 USB PD 管理器和 PHY、高压电源路径和 CC 逻辑, 并且可以控制外部超高速/交替模式多路复用器。

USB Type-C 引脚排列和可逆性

与 USB Type-A 和 Type-B 连接器相比, USB Type-C 连接器包含几个新引脚。这些引脚支持更高的功率、交替模式和可逆性等 USB Type-C 功能。图 13 说明了相关的引脚排列。

图 13 从左到右显示了:

- GND: 信号的返回路径。



图 13.Type-C 插座引脚排列。



图 14.Type-C 引脚排列 – 插座 (顶部)、插头 (底部)。

- TX/RX: 用于传输 USB 3.1 数据的超高速双绞线 (5 至 10Gbps)。
- VBUS: 主系统总线 (5V 至 20V)。
- CC1/CC2: 用于电缆检测、方向和电流广播的 CC 线。对于 USB PD, CC 线还可以传输更高的功率水平和交替模式。请注意, CC 线之一可能成为 VCONN。
- SBU1/SBU2: 这些是仅用于交替模式和附件模式的低速线。例如, 对于 DisplayPort, AUX+/AUX- 在 SBU 线上传输。对于音频适配器附件模式, 这些线用于麦克风输入和模拟 GND。
- D+/D-: 用于传输 USB 2.0 数据的高速双绞线 (速率高达 480Mbps)。

USB Type-C 连接器的一个新特征是引脚几乎是对称的 (在垂直方向和水平方向上)。因此此类连接器是可逆的。不幸的是, 无法被动实现可逆性, 因此需要额外的电子设备。图 14 显示了 USB Type-C 插座 (顶部) 和 USB Type-C 插头 (底部) 如何相对于彼此进行翻转。

USB Type-C 连接器的一个新特征是引脚几乎是对称的 (在垂

直方向和水平方向上)。因此此类连接器是可逆的。不幸的是, 无法被动实现可逆性, 因此需要额外的电子设备。图 14 显示了 USB Type-C 插座 (顶部) 和 USB Type-C 插头 (底部) 如何相对于彼此进行翻转。

- GND 和 VBUS 线仍处于相同的位置。
- D+/D- 双绞线具有相同的方向; 不过, 插头仅包含一根 D+/D- 双绞线。USB Type-C 规范允许在插座侧将 D+/D- 线短接在一起 (D+ 接 D+, D- 接 D-)。无论电缆方向如何, PHY 都始终会看到电缆的 D+/D- 对。
- CC1 和 CC2 线发生翻转, 可以决定电缆方向。该方向决定连接哪根 CC 线以及使哪根 CC 线保持断开。
- TX/RX 对也发生翻转。在以前, 此问题不易解决。与 D+/D- 线不同, 您不能简单地将两根公共线短接在一起, 因为这会产生一个线头。在 USB 2.0 速度下, 线头是可以接受的, 但在 USB 3.1 速度下, 线头会使信号完整性极大地降低。可以通过两种方法来避免这种情况:
 - 使用两个 PHY 和电缆方向检测, 以弄清要使用哪个 PHY。
 - 使用单个 PHY 和一个用于将正确的超高速线切换至该

PHY 的超高速多路复用器 (给定已知方向)。这通常是一种更经济实惠的解决方案。

- SBU 线也发生翻转; 不过, 这通常在交替模式 PHY 内进行处理 (请记住, 这些是低速线)。

结束语

尽管起初 USB Type-C 可能看起来很复杂, 但我们认为就这些优势而言, 开始学习研究 USB Type-C 是值得的。我们希望通过这篇文章, 以后无论您遇到什么应用, 都知道如何在未来设计中采用 USB Type-C, 并考虑 TI 为各种 USB Type-C 应用提供的众多解决方案。

参考文献

1. [“USB Type-C® Cable and Connector Specification Revision 2.0.”](#) USB Implementers Forum, Inc.: Beaverton, Oregon, October 2020.
2. [“USB Power Delivery.”](#) USB Implementers Forum, Inc.: Beaverton, Oregon, December 2020.

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。

所有商标均为其各自所有者所有。

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