



This EVM is used to evaluate the combination of a high-efficiency 5-A switch-mode buck-boost charger (BQ25798) and the USB Type-C and PD Controller (TPS25750) with integrated switches.

BQ25798 - ACTIVE
PC controlled, 1-4-cell, 5-A buck-boost solar battery charger with dual input selector and MPPT

BQ25756 - ACTIVE
Stand-alone or PC-controlled 70-V bidirectional buck-boost charge controller with MPPT

TPS25751 - NEW - ACTIVE
USB-C® Power Delivery 3.1 controller with moisture detection and programmable power-supply

电子书

工程师指南之 USB Type-C®

关于 USB Type-C 和 USB 电力输送的技术内容合集

引言

USB Type-C® (USB-C®) 是一种业界通用连接器，支持通过单个接口传输数据和电力。USB 电力输送 (PD) 是使用 USB-C 连接器来增加 USB-C 接口功能和特性的标准。借助 USB 电力输送，您现在可以同时传输高达 240W 的功率和高达 80Gbps 的数据。您还可以实现预定义的交替模式，如 DisplayPort™ 和 Thunderbolt，用于支持视频和其他高级功能。本电子书介绍了 USB Type-C 和 USB 电力输送，探讨了各种应用及其数据和电源要求，并帮助您了解实施 USB Type-C 和 USB 电力输送的整体系统视图。

内容	
引言	2
USB Type-C® 的基础知识	4
摘要	5
USB-C 数据速度和功率级别	5
数据和电源角色	5
USB-C 引脚排列和可正反插接	6
USB-C 电缆检测和方向	8
何时需要 USB PD 控制器？	8
USB Type-C® 的发展历程	9
摘要	10
USB 连接器基础知识	10
USB 和 USB PD 协议发展历程	11
USB-C 与 USB PD	14
USB PD 3.1 规范的演变	15
USB Type-C® 和 USB PD 规格简介和概述	16
摘要	17
USB-C 连接	17
VCONN 和消息类型	18
通过 CC 线协商 USB PD 功率	20
数据角色交换	22
电源角色交换	23
USB PD 交替模式简介	25
EPR 简介	26
通过 USB Type-C® 传输 USB 信号	27
引言	28
通过 Type-C 传输 USB 2.0 信号	28
低速和全速	28
高速	28
低速、全速和高速数据速率	29
USB 2.0 信号完整性	29
通过 USB-C 实现 SuperSpeed 信令	29
SuperSpeed 启动速度协商	30
SuperSpeed 信号完整性难题	30
USB Type-C® 的信号多路复用	31
USB-C USB 2.0	32
USB-C USB 3	32
USB PD DisplayPort™ 交替模式多路复用	32
DisplayPort 源设备 (DFP_D) 引脚分配 C	33
DisplayPort 源设备 (DFP_D) 引脚分配 D	34
DisplayPort 源设备 (DFP_D) 引脚分配 E	34
DisplayPort 接收端设备 (UFP_D) 引脚分配 C	34
DisplayPort 接收端设备 (UFP_D) 引脚分配 D	35
DisplayPort 接收端设备 (UFP_D) 引脚分配 E	35
USB4	37
USB4 概述	38

USB4 发现和进入流程.....	38
USB4 系统.....	38
边带通信.....	40
USB4 通道和数据速率.....	41
损耗预算.....	41
通过 SBU1 和 SBU2 支持 DisplayPort 交替模式和 USB4.....	42
eUSB2 简介.....	43
摘要.....	44
eUSB2 概述.....	44
eUSB2 模式.....	44
其他特性.....	45
扩展功率范围 (EPR).....	47
摘要.....	48
什么是 EPR?	48
技术规格.....	48
安全影响 >100W.....	49
处理与 TI PD 控制器的功率协商.....	50
结语.....	51
USB Type-C® 和 USB 电力输送常见用例和方框图.....	52
5V USB-C 仅供电方端口（无 USB PD）	53
基本功能块.....	53
具有 USB 3.0 数据功能的 5V USB-C 仅供电方端口（无 USB PD）	53
5V USB-C 仅受电方端口（无 USB PD）	54
5V USB-C DRP（无 USB PD）	54
具有 USB PD 的 20V USB-C 仅供电方端口.....	55
具有 USB PD 的 20V USB-C 仅受电方端口.....	56
具有 USB PD 和 DisplayPort™ 交替模式的 5V 供电方、20V 受电方 USB-C 端口.....	57
具有 USB PD 和电池充电器的 20V.....	58
终端设备特定方框图.....	60
摘要.....	61
笔记本电脑和工业 PC.....	61
扩展坞.....	61
Bluetooth® 扬声器.....	62
Wi-Fi® 路由器和智能扬声器.....	63
电动工具.....	63
TI PD 控制器的优势.....	65
摘要.....	66
针对常见设计挑战的 TI 解决方案.....	66
使用 TI PD 控制器的其他优势.....	69

USB Type-C® 的基础知识

- 摘要 •
- USB-C 数据速度和功率级别 •
- 数据和电源角色 •
- USB-C 引脚排列和可正反插接 •
- USB-C 电缆检测和方向 •
- 何时需要 USB PD 控制器? •



摘要

作者: Adam McGaffin、Nate Enos 和 Brian Gosselin

USB Type-C® (USB-C®) 是一种业界通用连接器，支持通过单个接口传输数据和电力。USB 电力输送 (PD) 是使用 USB-C 连接器来增加 USB-C 接口功能和特性的标准。借助 USB PD，您现在可以同时传输高达 240W 的功率和高达 80Gbps 的数据。您还可以实现预定义的交替模式，如 DisplayPort™ 和 Thunderbolt，用于支持视频和其他高级功能。在本章中，我们将介绍 USB-C 的基础知识，为本电子书中更高级的主题做好铺垫。

USB-C 数据速度和功率级别

表 1 列出了每个 USB 数据传输相关规范的最大传输速率。USB 1.0 和 USB 1.1 标准是最早版本，分别支持 1.5Mbps（低速）和 12Mbps（全速），但随着 USB 3.1 Gen 2 的发布，已经提升到支持 10Gbps (SuperSpeed+)。

表 1. USB 规范以及最大电压、电流和功率

规格	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	SuperSpeed	5Gbps
USB 3.1	SuperSpeed+	10Gbps

表 2 展示了 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-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-C 生态系统中最高可以支持 48V 电压（电流为 5A，功率为 240W）。

表 2. USB-C 和 USB PD 功率级别

规格	最大电压	最大电流	最大功率
USB 2.0	5V	500mA	2.5W
USB 3.0 和 USB 3.1	5V	900mA	4.5W
USB 电池充电规范 1.2	5V	1.5A	7.5W
USB-C 1.2	5V	3A	15W
USB PD 3.0	20V	5A	100W
USB PD 3.1	48V	5A	240W

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 的典型应用是扩展坞。
- **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其初始角色。供电方端口承担 DFP 的数据角色，而受电方端口承担 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：

- **受电方**是在连接时从 VBUS 取电的端口。受电方通常是设备，可能包括 USB 供电键盘等 USB 外设或耳机等消费类产品。
- **供电方**是在连接时通过 VBUS 供电的端口。常见的供电方是主机或集线器 DFP。典型的供电方应用是 USB-C 壁式充电器。
- **双角色电源 (DRP)** 端口可以用作受电方或供电方，并且可以在这两种状态之间进行切换。当 DRP 最初用作供电方时，该端口承担 DFP 的数据角色。或者，当 DRP 最初用作受电方时，该端口承担 UFP 的数据角色。不过，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，为外部配件充电。

此外，DRP 端口有两个特殊的子类型：

- 供电设备，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-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。
- 受电主机，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，它能够向配件发送数据，同时能为该配件供电。

USB-C 引脚排列和可正反插接

与 USB Type-A 和 Type-B 连接器相比，USB-C 连接器包含几个新引脚。这些引脚支持更高的功率、交替模式和可正反插接等 USB-C 功能。图 1 展示了引脚排列。

图 1 从左到右显示了：

- GND：信号的返回路径。
- TX 和 RX：用于传输 USB 3.1 数据的 SuperSpeed 双绞线（5Gbps 至 10Gbps）。
- VBUS：主系统总线（5V 至 48V）。
- CC1 和 CC2：用于电缆检测、方向和电流广播的 CC 线路。对于 USB PD，CC 线路还可以传输更高的功率等级和交替模式。请注意，其中一个 CC 线路可能成为 VCONN。
- SBU1 和 SBU2：这些是仅用于交替模式和附件模式的低速线路。例如，对于 DisplayPort，AUX+ 和 AUX- 在 SBU 线路上传输数据。对于音频适配器附件模式，这些线路用于麦克风输入和模拟 GND。
- D+ 和 D-：用于传输 USB 2.0 数据的高速双绞线（速率高达 480Mbps）。



图 1. USB-C 插口引脚排列

USB-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）。因此此类连接器可正反插接。不幸的是，无法被动实现可正反插接，因此需要额外的电子设备。图 2 展示了 USB-C 插座（顶部）和 USB-C 插头（底部）如何相对于彼此进行翻转。

- GND 和 VBUS 线路仍处于相同的位置。

- D+ 和 D- 双绞线具有相同的方向；不过，插头仅包含一根 D+ 和 D- 双绞线。USB-C 规范允许在插座侧将 D+ 和 D- 线路短接在一起（D+ 接 D+，D- 接 D-）。无论电缆方向如何，物理层 (PHY) 都始终会看到电缆的 D+ 和 D- 双绞线。
- CC1 和 CC2 线路发生翻转，可以决定电缆方向。该方向决定连接哪条 CC 线路以及使哪条 CC 线路保持断开。
- TX 和 RX 对也发生翻转。在以前，此问题不易解决。与 D+ 和 D- 线路不同，您不能简单地将两根公共线路短接在一起，因为这会产生一个残桩。在 USB 2.0 速度下，残桩是可以接受的，但在 USB 3.1 速度下，残桩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 SuperSpeed 线路切换至该 PHY 的 SuperSpeed 多路复用器（给定已知方向）。这种解决方案通常更加经济实惠。
- SBU 线路也发生翻转；不过，这通常在交替模式 PHY 内进行处理（请记住，这些是低速线路）。

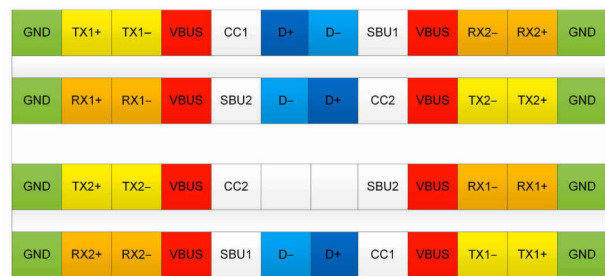


图2. USB-C 引脚排列：插座（顶部）、插头（底部）

USB-C 电缆检测 and 方向

USB-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。让我们来看看这些术语的定义：

- 当两条 CC 线路中任意一个下拉时，便会发生**电缆检测**（请参阅图 3）。DFP 的两个 CC 引脚通过电阻 R_p 上拉，而 UFP 的两个 CC 引脚则通过电阻 R_d 下拉。当 DFP 处理器检测到其中一个 CC 线路被下拉后，DFP 就会知道已建立连接。
- **电缆方向**取决于下拉的 CC 线路（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 线路保持开路状态；对于有源电缆，另一条 CC 线路将通过 R_a 下拉。
- R_p 的值决定**载流能力**。USB-C 原生支持 1.5A 或 3A。DFP 可以通过具有特定值的上拉电阻广播其载流能力。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。通过检测分压器中心抽头处的电压，UFP 可以检测到 DFP 的广播电流。

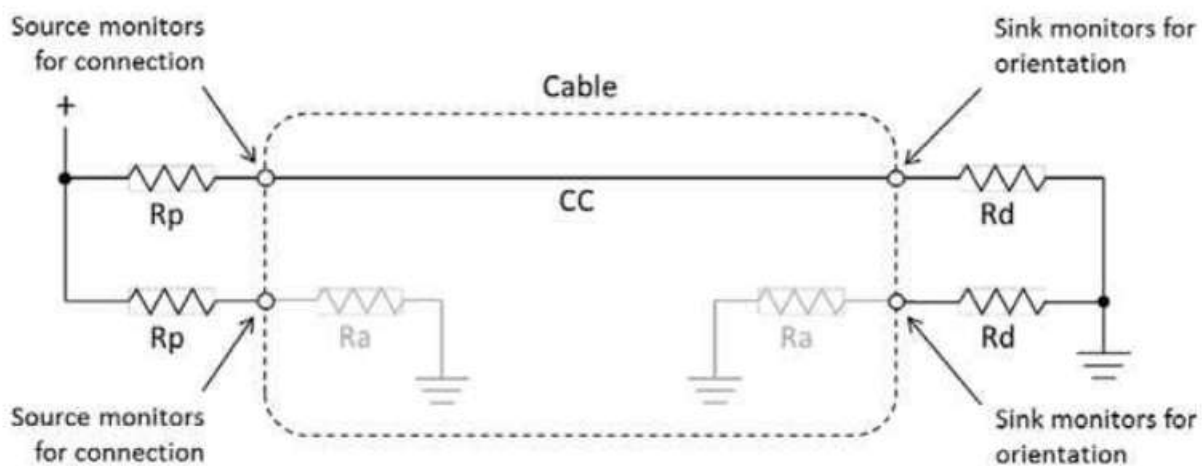


图 3. CC 逻辑上拉和下拉终端。（来源：USB Type-C 规范 v1.2，图 4 和图 5 上拉/下拉 CC 模型）

何时需要 USB PD 控制器？

USB PD 是使用 USB-C 连接器的标准，因此您可能想知道何时需要使用 USB PD 控制器。如果您的需求涉及以下三种场景中的任何一种，则需要 USB PD 控制器：

- **协商大于 5V 的电压。**即使最大功率小于 15W，您也需要使用 USB PD 控制器来协商大于 5V 的电压。例如，如果您的系统需要 15W 的功率，但只需要 5V 的电压，则不需要 USB PD 控制器。但是，如果您的系统只需要 10W 的功率，但需要 9V 的电压，则需要 USB PD 控制器来协商 9V 合约。
- 在 USB-C 连接器上**支持 DisplayPort 等视频功能**需要使用 USB PD 控制器。
- **电源角色和数据角色不匹配。**如果您想具有不同的数据 and 电源角色，则需要使用 USB PD 控制器（供电方和 UFP）。扩展坞就是一个很好的示例。扩展坞用作笔记本电脑充电的供电方，而 UFP 用于接收视频和 USB 数据。这是通过使用电源角色交换和数据角色交换来实现的。

USB Type-C® 的发展历程

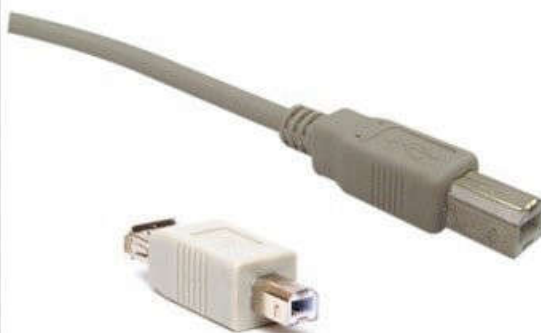
- 摘要 ·
- USB 连接器基础知识 ·
- USB 和 USB PD 协议发展历程 ·
- USB-C 与 USB PD ·
- USB PD 3.1 规范的演变 ·

Type-A



usbtypec.info

Type-B



Type-C



usbtypec.info

摘要

作者: Taylor Vogt

在本节中,我们将讨论 USB 协议的发展历程,以便提供 USB Type-C® (USB-C®) 和 USB 电力输送 (PD) 不断演变的背景信息。首先,我们将介绍 USB Type-A 和 USB Type-B 的定义,并探讨 USB 协议如何随着时间的推移演变为最新的 USB PD 3.1 规范。

USB 连接器基础知识

在讨论协议本身之前,连接器作为接口的重要媒介,其形态随着时间的推移不断演变。了解这一点很重要,因为随着 USB 协议功能的不断提升,要实现全部功能集,将需要使用 USB-C 连接器。图 4 展示了从早期到 USB-C 的不同 USB 连接器。

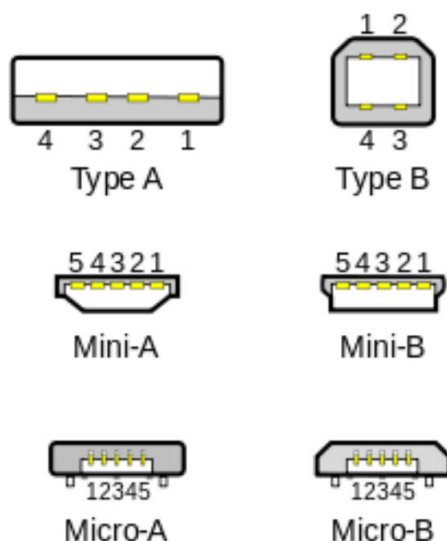


图 4. USB 连接器概述

USB Type-A

USB Type-A 通常是更广为人知、最常见的 USB 标准,它于 1996 年左右开始使用。您可以在台式机、游戏机和媒体播放器等主机设备中找到 USB Type-A 端口。

USB Type-B

USB Type-B 连接器位于典型 USB 电缆的一端,用于插接外围设备,例如智能手机、打印机或硬盘驱动器。这种连接器也于 1996 年首次出现,通常用于控制通过另一端的 Type-A 连接器连接到 PC 的设备。

USB-C

2015 年前后，多个知名手机和笔记本电脑品牌采用了 USB-C。USB-C 在设计上具有创新性，支持正反插接，使用更方便，同时其小型化的设计更适合轻薄时尚的设备。图 5 展示了 USB 电缆从 USB Type-A 发展到 USB Type-C 的历程，而图 6 更仔细地展示了 USB-C 连接器本身。

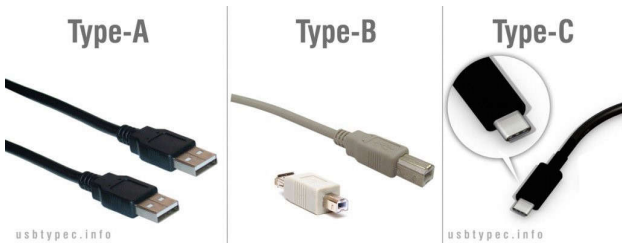


图 5. USB 电缆概述

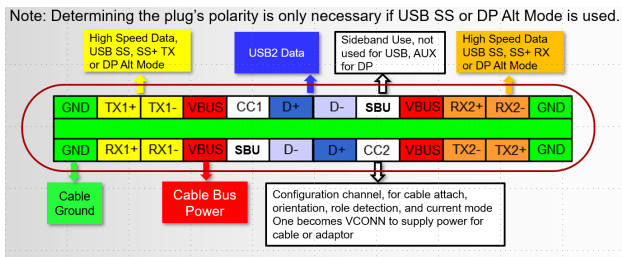


图 6. USB-C 连接器概述

USB 和 USB PD 协议发展历程

就协议本身而言，目前 USB Implementers Forum (USB-IF) 总共定义了六种 USB 规范：USB 1.0、2.0、3.0、3.1、3.2 和 4.0。但是，USB 1.0 基本上已不再使用，因此目前参考的标准是 USB 2.0 至 USB 4.0。

2012 年，第一版 USB PD 1.0 规范发布，但很快在 2014 年推出了 USB 2.0 版本，规定了 USB-C 连接器的使用，并完善了一些技术细节，以支持五种电源等级：15W、27W、45W、60W 和 100W。

USB PD 3.0 于 2018 年发布，为标准增加了一些灵活性，从而更好地适应各种设备。该版本改进了通信协议，以支持电池状态监控、增强的安全性和快速角色交换等功能。此外，该版本还引入了可编程电源 (PPS) 协议，支持以 20mV 为粒度增量调整电压电平。这使得需要微调电压电平的快速充电应用能够进行自定义电压协商。

USB PD 3.1 规范于 2021 年发布。这是一次重大更新，使 USB-C 电缆和连接器能够传输高达 240W 的功率。超过 100W 至 240W 称为扩展功率范围 (EPR)，而之前的 USB PD 范围现在称为标准功率范围 (SPR)。

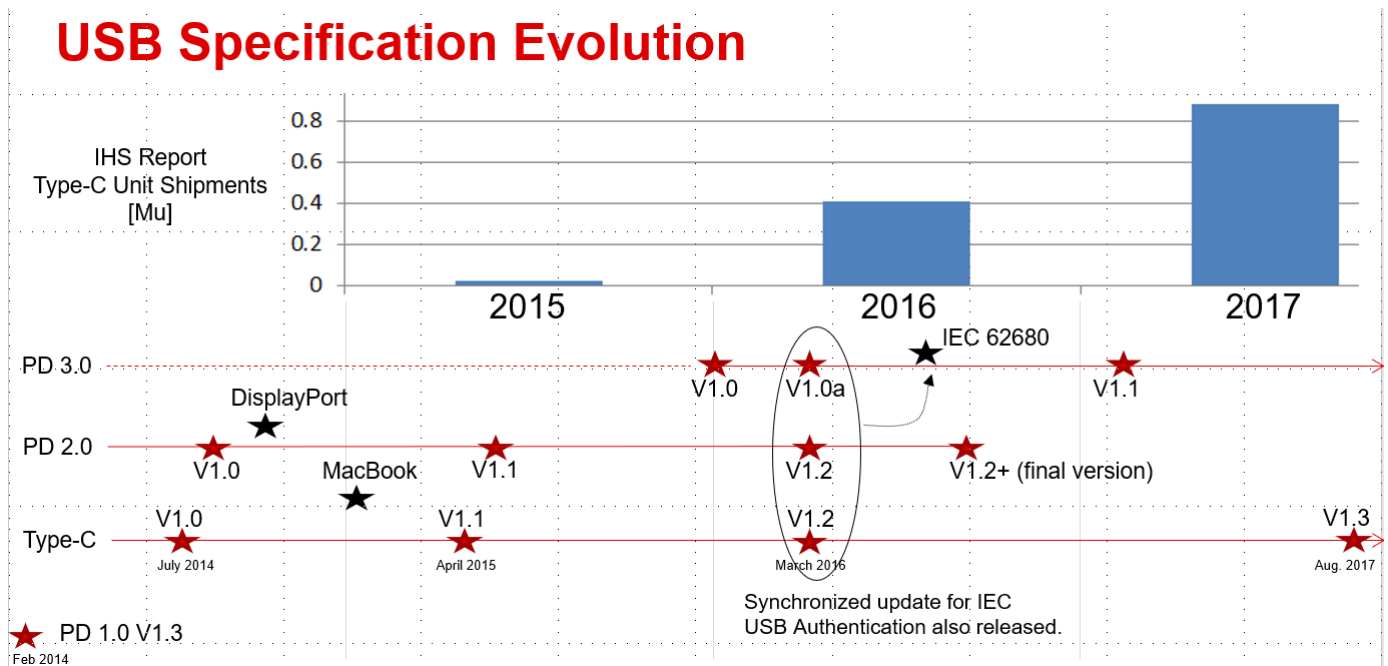


图7. USB 规范的发展

与之前的 USB 协议相比，USB 4.0 标准所支持的功能增多，因此要求使用 USB-C 连接器。此外，USB 4.0 的一个新发展是支持 DisplayPort™ 和 PCI Express (PCIe)。

后续章节将深入探讨更多细节，但从总体角度来看，以下是 USB 和 Thunderbolt 技术的一些方面：

- USB 3.2:
 - USB 3.2 Gen 1（之前称为 USB 3.0），SuperSpeed 高达 5Gbps。
 - USB 3.2 Gen 2（之前称为 USB 3.1），SuperSpeed 高达 10Gbps。
 - USB 3.2 Gen 2x2（实际的 USB 3.2），SuperSpeed 高达 20Gbps。
 - 多通道运行，具有两个 10Gbps 通道，数据速率达到 20Gbps。
 - 不需要 USB PD 功率合约。
- Thunderbolt 3:
 - 将 USB（2.0、3.0 和 3.1）、PCIe 和 DisplayPort 组合到单一接口中。
 - 需要 USB PD 合约。
 - 在成功协商 Intel 的 Thunderbolt 3 交替模式后启用。
- USB 4.0:
 - 使用现有 USB-C 电缆实现双通道运行，并支持高达 40Gbps 的运行速率。
 - 向后兼容 USB 3.2、USB 2.0 和 Thunderbolt 3。
 - 需要 USB PD 功率合约。
 - 不需要进入交替模式即可实现。

图 8 展示了 USB 数据传输速度的直观比较。

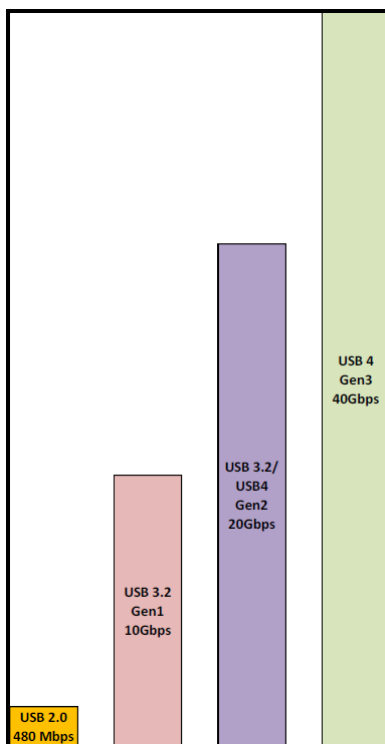


图 8. USB 数据传输速度

为了简化 USB 网络，通常包含一个主机和一个设备。一般情况下，PC 是主机，智能手机、平板电脑或摄像头是设备。从数据和电源角度来看，电源从主机流向设备，而数据可以双向传输。

USB 1.0 和 2.0 标准的下行端口可以提供高达 500mA 或 0.5A 的电流和高达 480Mbps 的数据速率。USB 3.0 提供高达 900mA 或 0.9A 的电流。这些电源输出规格基于每个标准输出 5V 的额定值。不过，专用 USB 3.0 充电端口和充电下行端口可提供高达 1,500mA 或 1.5A 的电流，总功率可达 7.5W。

USB-C 与 USB PD

从本质上剑来说，USB-C 指的是用于插接系统的连接器硬件，而 USB PD 指的是协议。USB-C 是目前最新的 USB 接口，整合了电源、视频和数据传输功能。从外观上看，USB-C 比 USB Type-A 连接器更小，并且支持反向插入。由于具有增强的功能集，一个 USB-C 连接器可以取代系统中现有设备的多个连接器。

默认情况下，USB-C 连接器在 5V 和 3A 电源域上工作，适用于不需要更高功率的应用。但是，USB-C 连接器支持使用 USB PD 协议，该协议能够提供 USB 电池充电 1.2 规范两倍的功率，最高可达 100W（20V 和 5A）。USB PD 通过 DisplayPort 或 Thunderbolt 等交替模式在 USB-C 电缆上支持高带宽视频和数据速率。图 9 展示了所有不同的电源模式及其实现顺序。

Precedence	Mode of Operation	Nominal Voltage	Maximum Current
Highest	USB PD	Up to 20 V	Up to 5 A
	USB Type-C current @ 3A	5 V	3 A
	USB Type-C current @ 1.5A	5 V	1.5 A
	USB BC1.2	5 V	Up to 1.5 A
	USB 3.1	5V	900 mA
Lowest	USB 2.0	5V	500 mA

图 9. 功耗模式的优先级

USB-IF 规范详细描述了 USB PD 协议，包括系统达成 USB PD 合约所需的步骤。简单来说，USB PD 控制器可以完成这些步骤，但根据端口是供电方还是受电方，具体的指令会有所不同。供电方会先通过一定数量的所需电力输送对象 (PDO) 广播其功率能力，而受电方会请求其中一个。供电方需要接受此请求，而受电方需要确认才能达成 USB PD 合约。图 10 展示了该协商序列。

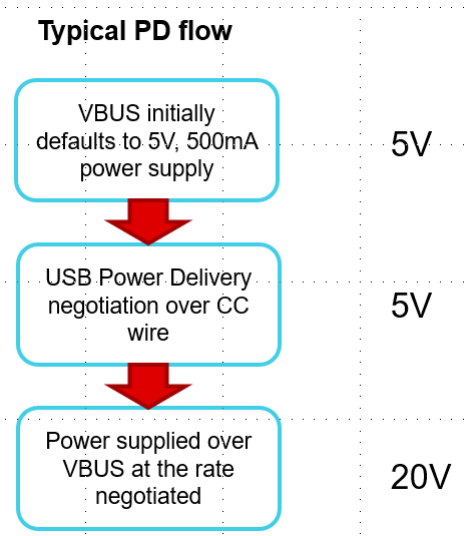


图 10. USB PD 功率协商序列

以下是使用 USB PD 控制器来实现 USB-PD 的一些原因：

- 支持更高的电压（高达 20V），同时 5V、9V 和 15V 也能满足大多数客户需求。（最新的 USB PD 规范包括 28V、36V 和 48V。）
- 一根 USB 电缆可以提供高达 100W 的功率（在最新 USB PD 规范中支持 EPR 时，则可提升至 240W）。
- 供电端口是可协商的：下行端口可以是提供方或耗电方，而上行端口也可以是提供方或耗电方。
- 在多个外设之间实现高效电源管理。
- 下行端口配备冷插接插座以节省电力。
- 能够与传统 USB 产品同时使用。
- 支持交替模式。

USB PD 3.1 规范的演变

稍后一章将更详细地介绍 PD3.1 和扩展功率范围。以下是 USB-IF 概括的主要特点：

- 新增的 28V、36V 和 48V 固定电压分别支持高达 140W、180W 和 240W 的功率级别。可调电压电源模式让设备能够在 15V 和充电器最大可用固定电压之间选择所需的中间电压。
- 电源方向不再是固定的。换句话说，主机或外设都可作为电源提供方。
- 各设备能够协商其最低功率需求，以确保在出现额外请求时仍有功率可用。
- 通过使用可选的集线器与 PC 通信实现智能系统级电源管理。
- 允许耳机等低功耗设备仅协商其所需的功率。

虽然未来仍不明朗，但欧盟正在推动在所有小型电子设备（包括手机和便携式充电器）中统一使用 USB-C 连接器，以减少电子废弃物并简化消费者的使用。

USB Type-C® 和 USB PD 规格简介和概述

- 摘要 •
- USB-C 连接 •
- VCONN 和消息类型 •
- 通过 CC 线协商 USB PD 功率 •
- 数据角色交换 •
- 电源角色交换 •
- USB PD 交替模式简介 •
- EPR 简介 •



摘要

作者: Adam McGaffin、Eric Beljaars 和 Ghouse Mohiuddin

USB Type-C® (USB-C®) 和 USB 电力输送 (USB PD) 规范是 USB-C 连接器中使用的两种协议。虽然它们是两个独立的协议,但它们密切地相互交织在一起,因为如果不先建立 USB-C 协议,您就无法协商 USB PD 合约。在本章中,我们将介绍这两种规范,并介绍复杂的 USB PD 主题。

USB-C 连接

USB-C 连接器和电缆上有两个配置通道 (CC) 引脚,分别对应连接器的两个插入方向;这使得 USB-C 支持正反插接。CC 引脚用于确定电缆是否已连接,以及 USB-C 端口是作为供电方还是受电方;此外,这些引脚还用于发送和接收所有 USB PD 消息。在连接后,根据极性,其中一条 CC 线路用于传递消息,而另一条 CC 线路可用作 VCONN,以便为有源电缆和电子标记供电。

USB-C 供电方将在 CC 引脚上提供上拉电阻器 (R_p),而 USB-C 受电方将在 CC 引脚上提供下拉电阻器 (R_d)。当供电方与受电方连接时, R_p 和 R_d 会在 CC 引脚上形成一个分压器。这就是检测 USB-C 连接的方式。除了端口的电源角色外,在标准 USB-C 中, R_p 和 R_d 还用于决定数据角色。 R_p 由供电方 (通常为下行端口 (DFP)) 提供,而 R_d 由受电方 (通常为上行端口 (UFP)) 提供。当通过 R_p 和 R_d 电阻分压器检测到连接后,供电方必须提供 5V 电压,受电方则可以根据隐式 USB-C 合约开始消耗电流。

如 USB-C 规范中所示, R_p 的电阻值决定了供电方可以提供的电流大小。受电方将通过上拉电阻的强度来检测 R_p 电阻值,并应根据连接的供电方能力限制其电流消耗。请注意,USB-C 是冷插拔连接器,这意味着当未连接任何设备时,VBUS 上的电压为 0V。这不同于传统的 USB Type-A,后者的 VBUS 上始终存在 5V 的电压。冷插拔连接意味着每个 USB-C 供电方端口将需要支持启用和禁用 5V 电压 (具体取决于是否连接了设备),并控制其上的电流。

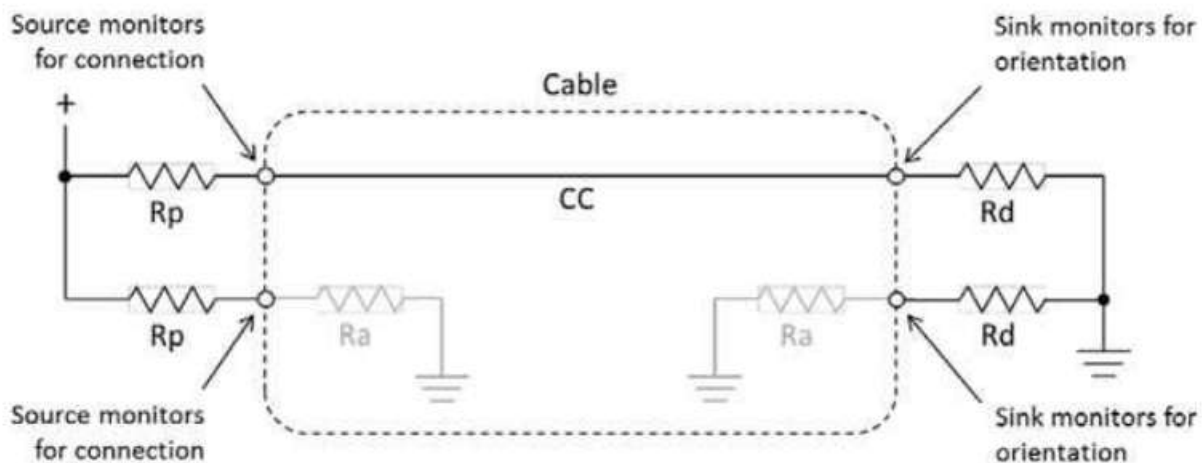


图 11. CC 逻辑上拉和下拉终端。(来源: USB Type-C 规范 v1.2, 图 4 和图 5 上拉/下拉 CC 模型)

VCONN 和消息类型

建立标准 USB-C 合约后，CC 线路可以用于发送和接收 USB PD 消息来与连接的设备进行通信。如果电流大于 3A、数据速率达到 USB 3.0，或者使用 DisplayPort™或 Thunderbolt 交替模式，CC 线路还可以通过 VCONN（另一条 CC 线路）为带有电子标记的电缆或有源电缆供电。

CC 消息有三种不同类型：起始数据包 (SOP)、SOP' 和 SOP"。消息类型指示消息要发送到的设备：

- SOP 消息通过电缆从一个 USB PD 控制器发送到另一个 USB PD 控制器。
- SOP' 消息发送到与消息发送端口所连的电缆末端的电子标记。
- SOP" 消息发送到与消息发送端口相对的电缆末端的电子标记。

图 12 突出显示了 DFP 或供电方 USB PD 控制器发送 SOP、SOP' 和 SOP" 消息的具体位置。在本章中，我们将重点介绍从一个 USB 控制器到另一个 PD 控制器的标准 SOP 消息传递，因为大多数协商都是在这个过程中发生的。与电缆两端的电子标号进行通信通常只是用于检查兼容性，以确定电缆的功能。

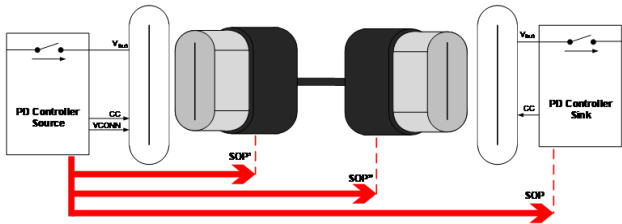


图 12. SOP、SOP' 和 SOP" 消息

现在，您已经知道信号如何在 CC 线路上传输，以及如何识别哪个设备正在发送消息，接下来我们来了解一下消息类型及其用途。USB PD 消息主要分为三类：控制消息、数据消息和扩展消息。

控制消息较短，用于管理端口伙伴之间的消息流，或用于交换不需要额外数据的消息。控制消息的长度为 16 位。**表 3** 展示了控制消息类型的完整列表。

表 3. 控制消息类型

消息类型	发送者
GoodCRC	供电方、受电方或电缆插头
GotoMin	仅供电方
接受	供电方、受电方或电缆插头
拒绝	供电方、受电方或电缆插头
Ping	仅供电方
PS_RDY	供电方或受电方
Get_Source_Cap	受电方或双角色电源 (DRP)
Get_Sink_Cap	供电方或 DRP
DR_Swap	供电方或受电方
PR_Swap	供电方或受电方
VCONN_Swap	供电方或受电方
等待	供电方或受电方
Soft_Reset	供电方或受电方
Data_Reset	供电方或受电方
Data_Reset_Complete	供电方或受电方
Not_Supported	供电方、受电方或电缆插头

表 3. 控制消息类型（续）

消息类型	发送者
Get_Source_Cap_Extended	受电方或 DRP
Get_Status	供电方或受电方
FR_Swap	受电方
Get_PPS_Status	受电方
Get_Country_Codes	供电方或受电方
Get_Sink_Cap_Extended	供电方或 DRP
Get_Source_Info	受电方或 DRP
Get_Revision	供电方或受电方

数据消息用于在一对端口伙伴之间交换信息。数据消息的长度从 48 位到 240 位不等。数据消息包括三种类型：

- 这类消息用于展示功能和协商功率。
- 这类消息用于内置自检 (BIST)。
- 这类消息由供应商定义。

表 4 展示了数据消息类型的完整列表。

表 4. 数据消息类型

消息类型	发送者
Source_Capabilities	供电方或 DRP
Request	仅受电方
BIST	测试仪、供电方或受电方
Sink_Capabilities	受电方或 DRP
Battery_Status	供电方或受电方
警报	供电方或受电方
Get_Country_Info	供电方或受电方
Enter_USB	DFP
EPR_Request	受电方
EPR_Mode	供电方或受电方
Source_Info	供电方
Revision	供电方、受电方或电缆插头
Vendor_Defined	供电方、受电方或电缆插头

与数据消息一样，扩展消息也用于在一对端口伙伴之间交换信息。扩展消息有几种类型：

- 这类消息用于获取供电方和电池信息。
- 这类消息用于确保安全。
- 这类消息用于固件更新。
- 这类消息由供应商定义。

表 5 展示了扩展消息类型的完整列表。

表 5. 扩展消息类型

消息类型	发送者
Source_Capabilities_Extended	供电方或 DRP
Status	供电方、受电方或电缆插头

表 5. 扩展消息类型（续）

消息类型	发送者
Get_Battery_Cap	供电方或受电方
Get_Battery_Status	供电方或受电方
Battery_Capabilities	供电方或受电方
Get_Manufacturer_Info	供电方或受电方
Manufacturer_Info	供电方、受电方或电缆插头
Security_Request	供电方或受电方
Security_Response	供电方、受电方或电缆插头
Firmware_Update_Request	供电方或受电方
Firmware_Update_Response	供电方、受电方或电缆插头
PPS_Status	供电方
Country_Info	供电方或受电方
Country_Codes	供电方或受电方
Sink_Capabilities_Extended	受电方或 DRP
Extended_Control	供电方或受电方
EPR_Source_Capabilities	供电方或 DRP
EPR_Sink_Capabilities	受电方或 DRP
Vendor_Defined_Extended	供电方、受电方或电缆插头

有关每种消息类型的详细说明，请参阅 USB PD 规范。

通过 CC 线协商 USB PD 功率

现在，您已经通过 Rp 和 Rd 设置了基本的 USB-C 隐式合约，确定了哪条 CC 线路用于通信和哪条线路用于 VCONN，并通过 SOP' 和 SOP" 消息与电缆进行通信以了解其功能。接下来，让我们开始通过 SOP 消息在两个设备之间进行 USB PD 协商。

USB PD 消息通过 300kbps ±10% 双相标记码 (BMC) 信号在两个连接的设备之间进行通信。该消息传递发生在 CC 引脚上。

USB PD 协商中发送的第一条消息是来自 DFP 和供电方端口的 Source_Capabilities。Source_Capabilities 消息包含供电方能够提供给所连设备的电源数据对象 (PDO)。

每收到一条 USB PD 消息，接收设备都会回复一条 GoodCRC 消息。例如，在 DFP 和供电方端口发送 Source_Capabilities 后，受电方和 UFP 端口将在下一条消息之前发送 GoodCRC 消息进行响应。GoodCRC 表示所连设备成功收到消息。从所连设备收到 Source_Capabilities 消息后，受电方和 UFP 端口将发送一条请求消息，请求其运行所需的 PDO。如果受电方所需的工作电流与供电方的能力并不直接匹配，则受电方将切换请求消息中的“能力不匹配”位，向供电方指示这一不匹配情况。

DFP 和供电方端口从所连受电方收到请求消息后，供电方将向受电方发送一条接受消息。供电方将调整 VBUS 上的电压，以便与来自受电方的请求匹配。

在供电方的电压处于所请求 PDO 的 ±5% 范围内后，供电方将会发送一条 PS_RDY 消息来向受电方指示电压正常。在收到 PS_RDY 消息后，受电方可以开始拉取高达所请求 PDO 的电流。

图 13 展示了标准 USB PD 分析仪上所示的 USB PD 功率协商情况。我们建议在设计具有 USB PD 的系统时使用 USB PD 分析仪，以便记录两个设备之间的 CC 协商流量。如果遇到意外行为，使用它进行调试会非常有用。

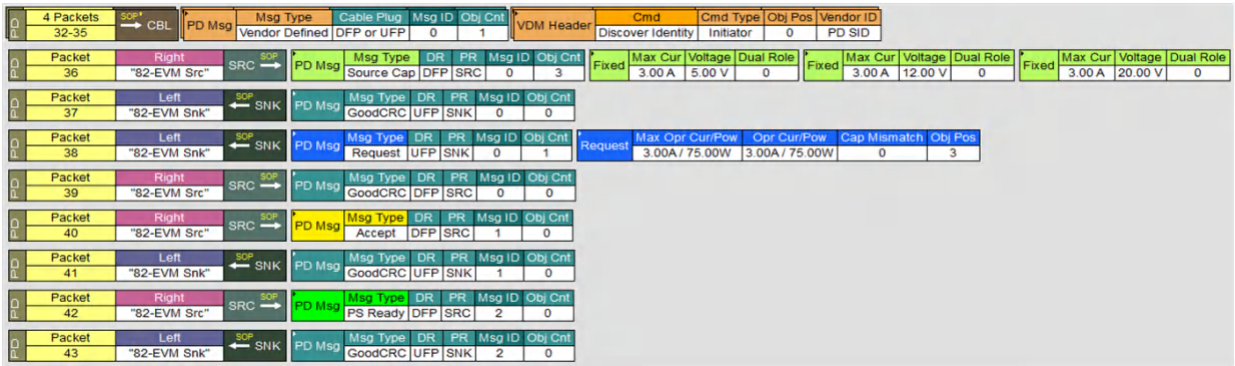


图 13. USB PD 功率协商

图 13 展示了以下消息序列：

1. 供电方会检测电缆功能或插头类型（如果这些信息尚不明确）。供电方发送一条包含当前电源能力的 Source_Capabilities 消息，并附加循环冗余校验 (CRC)。
2. 受电方的策略引擎会评估供电方发送的 Source_Capabilities 消息，必要时检测插头类型，并选择要使用的电源。受电方将表示其请求的数据（例如 PDO）格式化为消息并发送给供电方。
3. 供电方的策略引擎会评估受电方发送的请求消息并决定它是否可以完成请求。供电方组装并发送附有 CRC 的接受消息，该消息会触发以下操作：
 - 受电方进入 SnkStandby 状态，电流消耗低于 500mA。
 - 供电方开始将 VBUS 上的电压从 VBUS_OLD 转换为 VBUS_NEW，本例中为从 5V 到 20V。
4. 供电方设备的策略管理器通知策略引擎电源已稳定至新的工作条件，并发送一条附加 CRC 的 PS_RDY 消息。

有关更多详细信息，请参阅 USB PD 规范。

图 14 突出显示了 USB PD 规范中所述固定、可变或电池标准功率范围 (SPR) 的成功功率协商示例。如果您感兴趣，可以在 USB PD 规范的电子书中使用关键字搜索来了解更多详细信息。

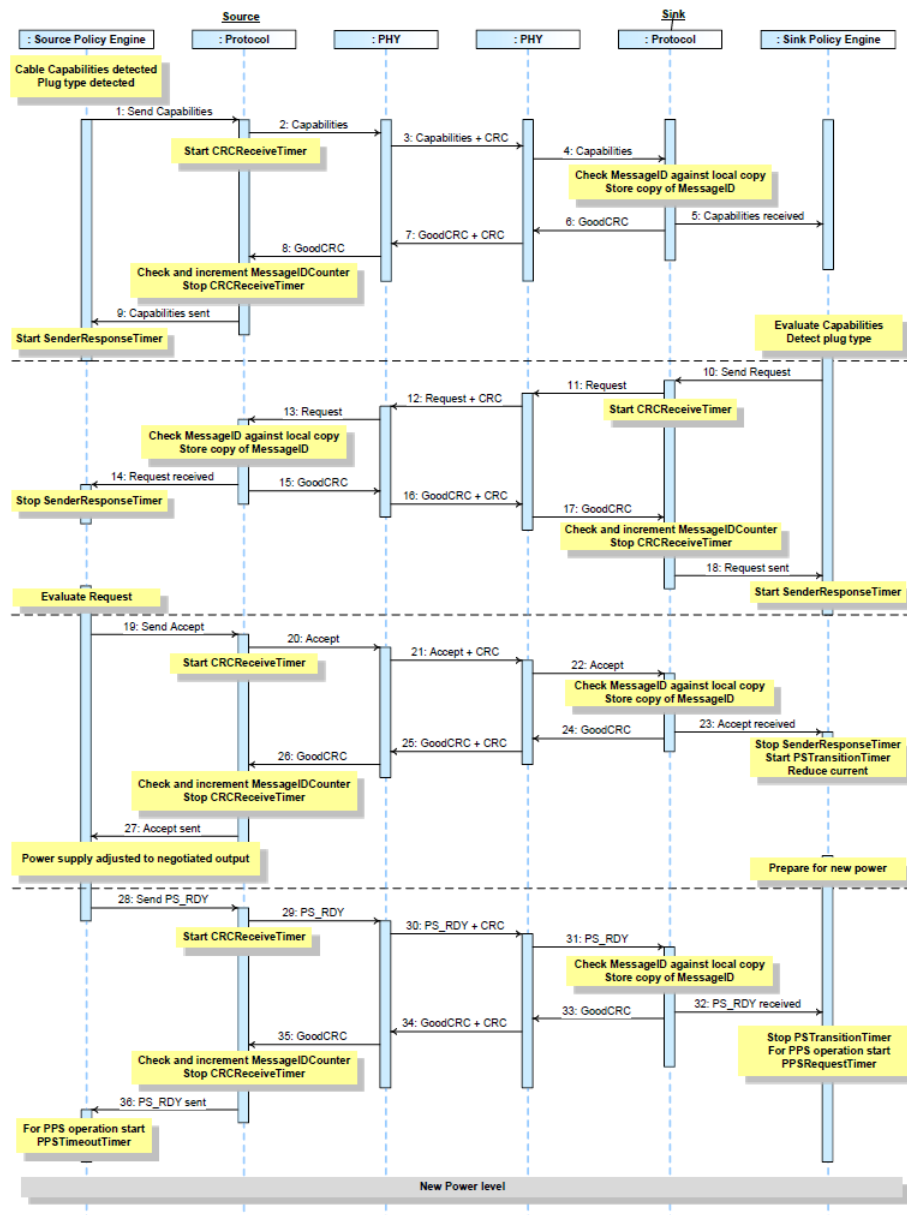


图 14. 固定、可变或电池 SPR 的成功功率协商

数据角色交换

启用具有 USB PD 功能的 USB-C 端口后，数据角色和电源角色可以灵活组合。在标准 USB-C 连接中，数据角色和电源角色始终匹配，具体取决于 CC 线路上的 R_p 或 R_d 电阻器。而通过 USB PD 消息传递，可以实现电源角色交换或数据角色交换，从而可以混合电源角色和数据角色。这意味着 USB PD 端口可以作为 DFP 和受电方，也可以作为 UFP 和供电方。

例如，当将笔记本电脑连接到扩展坞时，您希望扩展坞为笔记本电脑供电并为其充电，同时也希望从 PC 接收数据以连接鼠标、键盘或显示器。在这种情况下，扩展坞需要是电源和数据 UFP。要进入此状态，您需要进行数据角色交换或电源角色交换。

由于笔记本电脑和扩展坞通常都支持 DRP，因此任一设备最终都可能处于原始的电源或数据角色中。假设笔记本电脑最初作为 UFP 和受电方，而扩展坞最初作为 DFP 和供电方。在这种情况下，您已经处于正确的电源角色，但仍需要完成数据角

色交换，才能进入正确的数据角色。任一端口伙伴都可以发起数据角色交换。不过，更常见的是笔记本电脑发起交换，因为它希望成为 DFP。事件序列如下所示：

1. UFP 和受电方向 DFP 和供电方发送数据角色交换（USB PD 规范中为 DR_Swap）消息。
2. DFP 和供电方收到数据角色交换消息后，发回一条接受消息。

此时，笔记本电脑将成为 DFP 和受电方，数据角色交换完成。图 15 展示了 USB PD 规范中该事件序列的示意图。

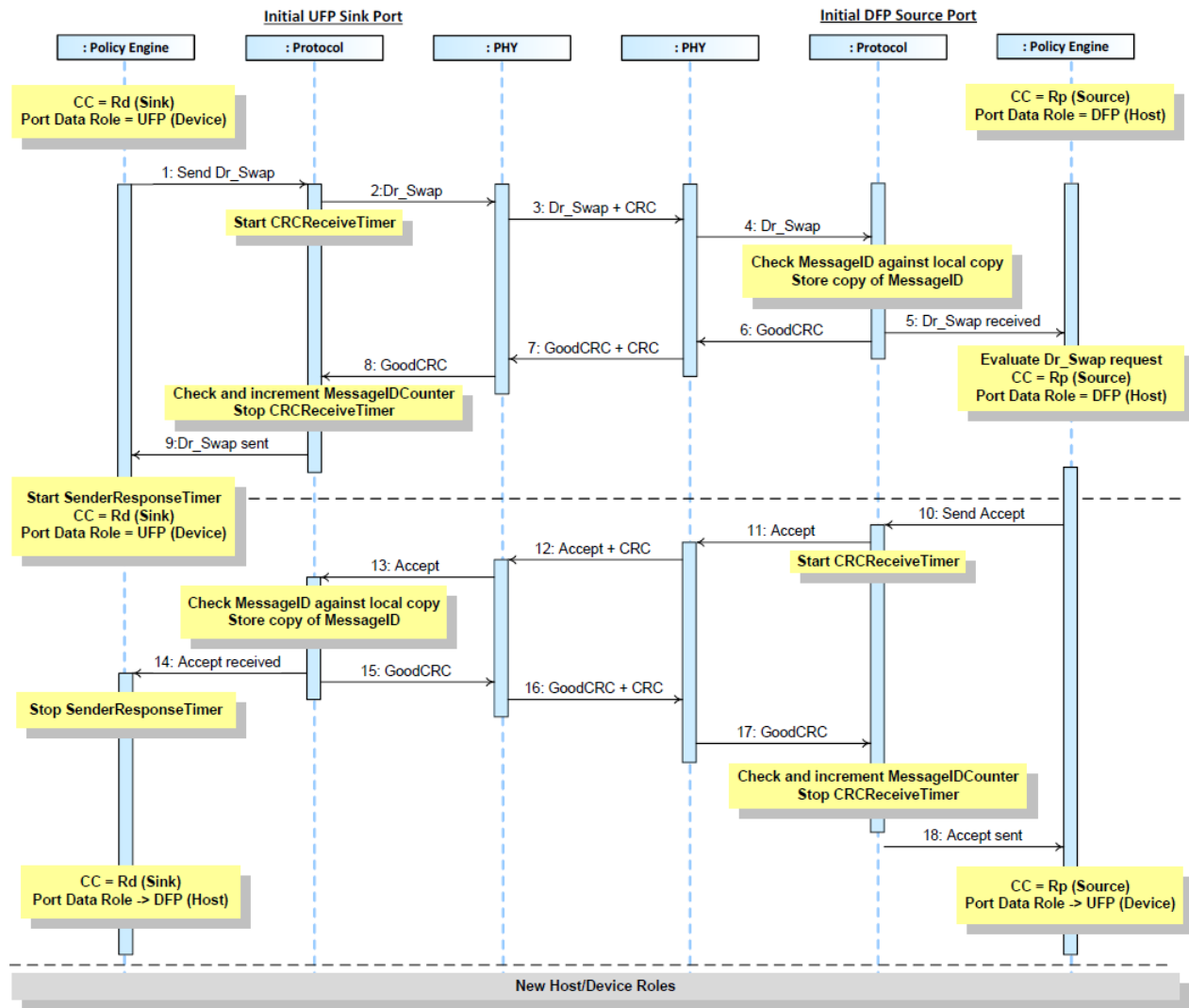


图 15. 数据角色交换成功，从 UFP 变为 DFP

电源角色交换

下面我们来看一个笔记本电脑作为 DFP 和供电方连接的例子。在这种情况下，数据角色是正确的，但需要进行电源角色交换，以便扩展坞能够成为供电方并开始为笔记本电脑充电。

以下是笔记本电脑（DFP 和供电方）发起电源角色交换以成为受电方时发生的事件序列：

1. DFP 和供电方向 UFP 和受电方发送电源角色交换（USB PD 规范中为 PR_Swap）消息。
2. UFP 和受电方向 DFP 和供电方返回接受消息。

- DFP 和供电方停止供电，并将 CC 终端从 R_p 更改为 R_d ，以指示其将成为受电方。随后，DFP 和供电方发送一条 PS_RDY 消息来指示其已停止供电。
- 初始 UFP 和受电方从初始 DFP 和供电方收到第一个 PS_RDY。初始的 UFP 和受电方会将其 CC 终端从 R_d 更改为 R_p ，并开始在 VBUS 上提供 5V。
- 当 VBUS 上提供 5V 电压时，初始 UFP 和受电方会发送第二个 PS_RDY，电源角色交换完成。

可以看到，该序列以扩展坞在 VBUS 上仅提供 5V 电压结束，之后它会通过发送其供电能力来开始相同的 USB PD 功率协商。图 16 展示了由初始受电方发起的电源角色交换事件序列，如 USB PD 规范中突出显示。

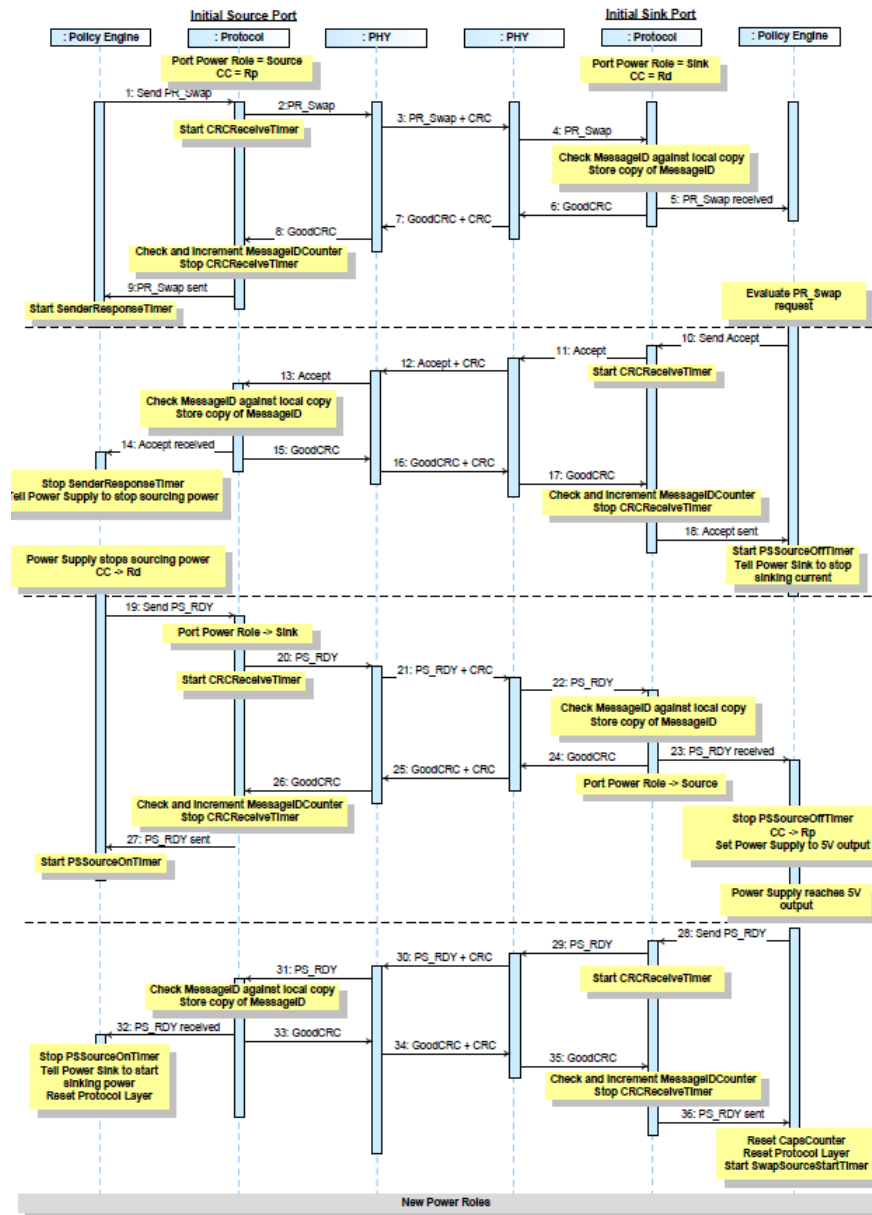


图 16. 成功的电源角色交换，初始受电方变为新的供电方

USB PD 交替模式简介

USB-C 的一项重要优势是能够消除几乎所有消费类设备中的所有电缆需求（DisplayPort、Thunderbolt、电源插头、USB Type-A 和 USB Type-B）。为了实现这一点，USB-C 需要超越 USB 3.0 的额外功能，这也是 USB Implementers Forum (USB-IF) 定义交替模式的原因。交替模式使得可以将 USB-C 引脚（发送器和接收器对以及边带使用）重新用于其他功能。到目前为止，视频一直是交替模式的主要应用领域，DisplayPort 和 Thunderbolt 是实现通过 USB-C 电缆传输视频的两种主要交替模式。

EPR 简介

直到最近，USB PD 3.0 规范允许通过经认证的 USB-C 端口和电缆以高达 100W（20V，5A）的水平进行双向功率和数据传输。最新的 USB PD 3.1 规范将功率增加至 240W (48V/5A)。为了保持术语一致，USB-IF 将之前的 USB PD 范围重命名为 SPR，并将新规范的 100W 至 240W 范围定义为扩展功率范围 (EPR)。

表 6. USB 功率级别

规格	最大电压	最大电流	最大功率
USB 2.0	5V	500mA	2.5W
USB 3.0 和 USB 3.1	5V	900mA	4.5W
USB 电池充电规范 1.2	5V	1.5A	7.5W
USB-C 1.2	5V	3A	15W
USB PD 3.0	20V	5A	100W
USB PD 3.1	48V	5A	240W

通过 USB Type-C® 传输 USB 信号

- 引言 ·
- 通过 Type-C 传输 USB 2.0 信号 ·
 - 低速和全速 ·
 - 高速 ·
 - 低速、全速和高速数据速率 ·
 - USB 2.0 信号完整性 ·
- 通过 USB-C 实现 SuperSpeed 信令 ·
 - SuperSpeed 启动速度协商 ·
 - SuperSpeed 信号完整性难题 ·



引言

作者: Undrea Fields

USB-Type C® (USB-C®) 与多个 USB 规范兼容, 包括 1.0、1.1、2.0、3.2 Gen 1 (SuperSpeed USB)、3.2 Gen 2 (SuperSpeed USB 10Gbps)、3.2 Gen 2x2 (SuperSpeed 20Gbps)、USB 4 20Gbps、USB4 40Gbps 和 USB4 80Gbps。

所有 USB 信号都以六个差分对形式通过 USB 传输:

- D1+、D1- (低速、全速、高速)。
- D2+、D2- (低速、全速、高速)。
- TX1+、TX1- (SuperSpeed 通道 1 传输 [TX])。
- Rx1+、Rx1- (SuperSpeed 通道 1 接收 [RX])。
- TX2+、TX2- (SuperSpeed 通道 2 TX)。
- RX2+、RX2- (SuperSpeed 通道 2 RX)。

通过 Type-C 传输 USB 2.0 信号

根据 USB 规范, 为了确保向后兼容, 在实现 USB-C 时, 必须在 USB-C 接口上并行支持 USB 2.0 (包括 USB 1.0 和 USB 1.1) 信号和 SuperSpeed 信号。

低速和全速

低速和全速信号采用的是 3.3V 信号。如图 17 所示, 低速或全速设备都在 D+ (全速) 或 D- (低速) 信号线路上通过 1.5kΩ 上拉电阻连接到 3.3V, 这使得主机可以确定所需的接口速度。

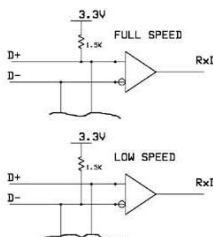


图 17. 低速和全速上拉电阻

高速

高速信号传输采用 3.3V 和 800mV 差分信号的组合。如图 18 所示, 高速设备在 D+ 和 D- 信号线路上都配备 45Ω 端接电阻。

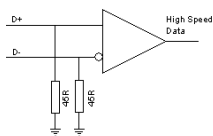


图 18. 高速端接

最初, 高速设备处于空闲状态, 此时 D+ 上的电压为 3.3V, 随后进行高速协商。高速协商成功完成后, 高速数据包 (速率为 480Mbps) 以约 400mV 的差分电压传输。图 19 展示了这一过程。

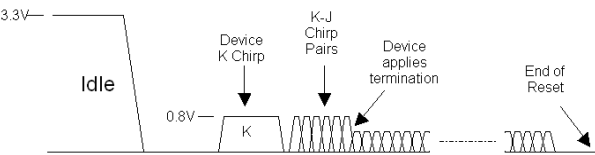


图 19. 高速协商

低速、全速和高速数据速率

随着 USB 规范的每次修订，数据吞吐量都会增加。表 7 列出了低速、全速 (USB 1.1) 和高速 (USB 2.0) 的吞吐量。

表 7. USB 1.1 和 2.0 数据速率

名称	速度
低速	1.5Mbps
全速	12Mbps
高速	480Mbps

USB 2.0 信号完整性

随着 USB 2.0 的数据速率提高，在某些情况下，尤其是在从主机到 USB 连接器的印刷电路板布线较长的台式机或服务器平台上，可能需要借助信号调节器（例如德州仪器 (TI) 的 TUSB211A），才能通过 USB 2.0 主机眼图电气测试。图 20 展示了一个示例，以及如何将 TUSB211A 作为信号调节器用于现有布线上。

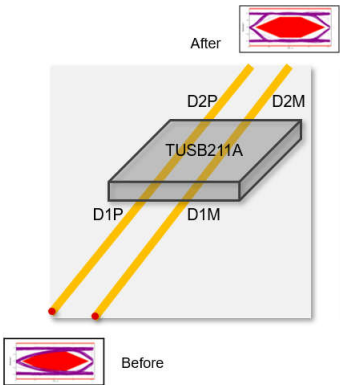


图 20. TUSB211A USB 2.0 信号调节器

通过 USB-C 实现 SuperSpeed 信令

所有 USB SuperSpeed 信号都通过相同的差分对（TX1、RX1、TX2 和 RX2）发送和接收。USB-C 上的 SuperSpeed 信号传输可以使用 TX1/RX1 对或 TX2/RX2 对；这也称为 x1 实现。USB-C 上的 USB 能够在不提高数据速率的情况下启用 x1 实现中未使用的 TX/RX 对，从而有效地使数据吞吐量翻倍，这称为 x2 实现。

表 8 列出了不同的 USB 3.0 和 USB 4.0 规范版本及相关的数据速率。

表 8. SuperSpeed USB 数据速率

模式	名称	速度
USB 3.2 Gen 1x1	SuperSpeed USB	5Gbps
USB 3.2 Gen 2x1	SuperSpeed USB 10Gbps	10Gbps
USB 3.2 Gen 2x2	SuperSpeed USB 20Gbps	20Gbps
USB 4.0 Gen 2x2	USB 4 20Gbps	20Gbps
USB 4.0 Gen 3x2	USB4 40Gbps	40Gbps

表 8. SuperSpeed USB 数据速率（续）

模式	名称	速度
USB 4.0 Gen 4	USB4 80Gbps	80Gbps

SuperSpeed 启动速度协商

SuperSpeed 设备在启动时通过使用 SuperSpeed USB 中的低频周期信令 (LFPS) 信号，并在 SuperSpeed USB 10Gbps 和 20Gbps 模式下对 LFPS 信号 (LBPM) 进行脉冲调制，协商实现最高可用的数据传输速率。USB 4.0 使用 LBPM 信号并采用多相协商的部分机制。图 21 展示了一个 LBPM 协商的示例。

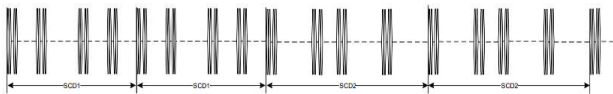


图 21. LBPM 示例

SuperSpeed 信号完整性难题

数据速率的显著提高对信号完整性提出了挑战，因为信号在通过接口传输时，会受到多种因素的影响，导致信号完整性下降。布线、连接器和电缆都会引起插入损耗，同时还会对高速信号造成符号间干扰、串扰、噪声和抖动。此外，任何连接点的阻抗不匹配都会导致信号反射问题。信号速度越高，信号发生衰减的可能性就越大。图 22 展示了可能导致信号衰减的潜在来源。

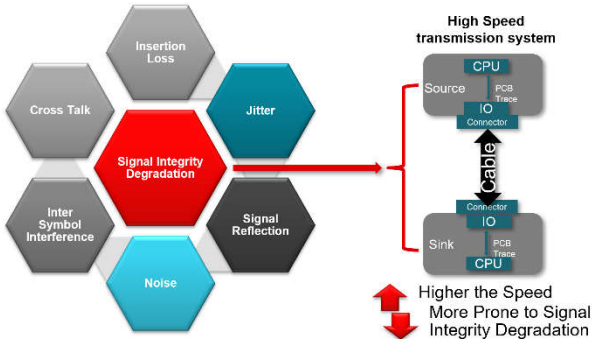


图 22. 信号完整性下降问题来源

为了克服这些信号完整性挑战，您可以在 USB-C 端口上实现信号调节器。TUSB1146 线性转接驱动器等信号调节器可以补偿系统符号间干扰，同时不会在任何预冲或去加重通过时干扰链路训练。

USB Type-C® 的信号多路复用

USB-C USB 2.0 •

USB-C USB 3 •

USB PD DisplayPort™ 交替模式多路复用 •

DisplayPort 源设备 (DFP_D) 引脚分配 C •

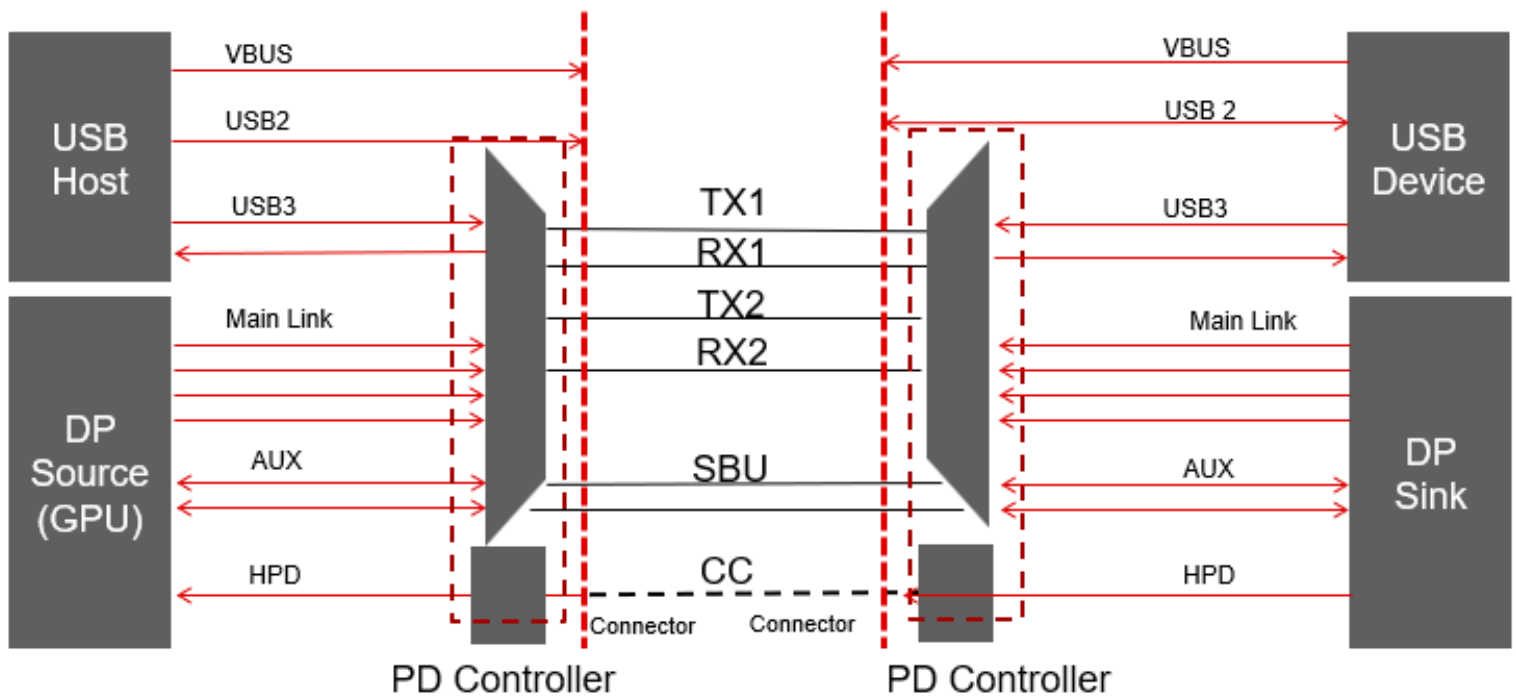
DisplayPort 源设备 (DFP_D) 引脚分配 D •

DisplayPort 源设备 (DFP_D) 引脚分配 E •

DisplayPort 接收端设备 (UFP_D) 引脚分配 C •

DisplayPort 接收端设备 (UFP_D) 引脚分配 D •

DisplayPort 接收端设备 (UFP_D) 引脚分配 E •



USB-C USB 2.0

作者: David Liu

对于 USB 2.0, 由于 D+ 和 D- 引脚的位置, 信号多路复用通常通过将主机和设备插座中的两个 D+ 信号引脚和两个 D- 信号引脚短接在一起来处理。

USB-C USB 3

对于 USB 3 或 SuperSpeed 信号, 数据通道要求主机和设备中的多路复用器在功能上等效, 以通过电缆将 SuperSpeed 发送 (TX) 和接收 (RX) 信号对恰当地路由到连接路径。

为了建立有效 USB 数据总线从主机到设备的正确路由, 标准 USB-C 电缆设计会将一个配置通道 (CC) 导线与第一个 USB SuperSpeed 信号对 (SSTXp1/SSTXn1 和 SSRXp1/SSRXn1) 对齐。通过这种方式, CC 线路和 USB SuperSpeed 数据总线导线共同用于确定电缆的方向和扭转情况。通过检测设备将端接插座中的哪个 CC 引脚 (CC1 或 CC2), 主机可以检测要用于连接的 SuperSpeed USB 信号, 并控制用于路由 SuperSpeed USB 信号对的功能开关。

在设备端, 通过检测主机将在插座端接哪个 CC 引脚, 设备可以控制用于路由其 SuperSpeed USB 信号对的功能多路复用器。**图 23** 展示了 SuperSpeed 发送 (TX) 和接收 (RX) 信号对的路由方式如何与 USB SuperSpeed 信号对 (SSTXp1/SSTXn1 和 SSRXp1/SSRXn1) 相对应。

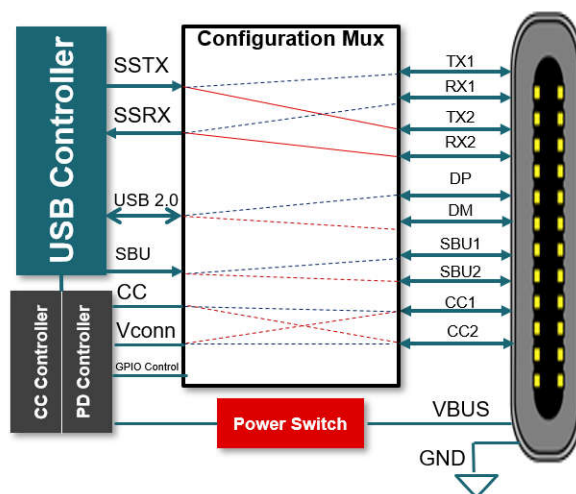


图 23. USB 配置多路复用器

USB PD DisplayPort™ 交替模式多路复用

能够传输 DisplayPort™ 信号的 USB-C 端口称为 PD DisplayPort 或 DisplayPort 交替模式。借助 DisplayPort 交替模式, 您可以通过 USB-C 端口将支持 DisplayPort 的视频源设备 (PC、蓝光播放器) 与显示设备 (电视、显示器) 连接来传输高清视频信号。**图 24** 展示了 DisplayPort 交替模式下所用信号的典型方框图。

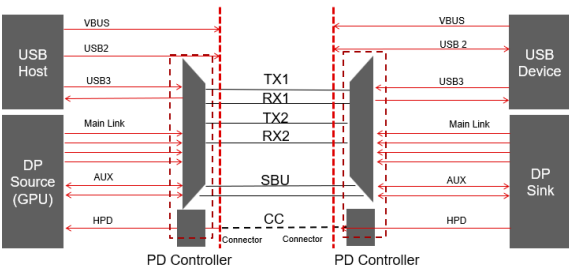


图 24. USB-C DisplayPort

USB-C 端口可以连接到 USB-C 或 DisplayPort 连接器，因此存在多种引脚分配，以便将 DisplayPort 主链路通道的物理连接正确映射到 USB-C 连接器。

USB-C 供电方侧或 DFP_D 需要分配 C（如表 9 所示），而表 9 中的分配 D 是可选的。分配 C 和 D 之间的区别在于，分配 C 支持四个 DisplayPort 通道，而分配 D 支持两个 DisplayPort 通道。USB-C 端口转 DisplayPort 需要分配 E 支持。

表 9. USB-C 供电方侧分配

DFP_D	分配 C	分配 D	分配 E
	USB-C 转 USB-C 或协议转换器	USB-C 转 USB-C 或协议转换器	USB-C 转 DisplayPort
USB 主机	必需	可选	必需
USB 器件	必需	可选	必需

USB-C 受电方侧或 UFP_D 需要分配 C（如表 10 所示），而分配 D 是可选的。分配 C 和 D 之间的区别在于，分配 C 支持四个 DisplayPort 通道，而分配 D 支持两个 DisplayPort 通道。DisplayPort 转 USB-C 端口需要分配 E 支持。

表 10. USB-C 受电方侧分配

UFP_D	分配 C	分配 D	分配 E
	USB-C 转 USB-C	USB-C 转 USB-C	USB-C 转 DisplayPort
USB 主机	必需	可选	必需
USB 器件	必需	可选	必需

DisplayPort 源设备 (DFP_D) 引脚分配 C

图 25 和图 26 定义了重新配置 USB-C 连接器引脚以支持正常和翻转插头方向的 DisplayPort 时这些引脚的配置。DisplayPort 引脚分配 C 的电气要求需要符合 DisplayPort 标准，以支持系统所能达到的最高位速率，包括超高位速率 (UHBR) 20、UHBR 13.5、UHBR 10、HBR 3、HBR 2、HBR 或降低的位速率 (RBR)。DisplayPort 标准中定义了该协议。引脚分配 C 仅适用于 USB-C 转 USB-C 无源和有源电缆以及具有 USB-C 插头的 DisplayPort 接收端设备。

Receptacle Interface(Front View)				
B12	GND		GND	A1
B11	ML3+		ML2+	A2
B10	ML3-		ML2-	A3
B9	VBUS		VBUS	A4
B8	SBU2/AUXN		CC1	A5
B7	D-2		D+1	A6
B6	D+2		D-1	A7
B5	CC2		SBU1/AUXP	A8
B4	VBUS		VBUS	A9
B3	ML1-		ML0-	A10
B2	ML1+		ML0+	A11
B1	GND		GND	A12

图 25. DFP_D 引脚分配 C 正常插头方向

Receptacle Interface(Front View)				
B12	GND		GND	A1
B11	ML0+		ML1+	A2
B10	ML0-		ML1-	A3
B9	VBUS		VBUS	A4
B8	SBU2/AUXP		CC1	A5
B7	D-2		D+1	A6
B6	D+2		D-1	A7
B5	CC2		SBU1/AUXN	A8
B4	VBUS		VBUS	A9
B3	ML2-		ML3-	A10
B2	ML2+		ML3+	A11
B1	GND		GND	A12

图 26. DFP_D 引脚分配 C 翻转插头方向

DisplayPort 源设备 (DFP_D) 引脚分配 D

DisplayPort DFP_D 引脚分配 D 与 DFP_D 引脚分配 C 类似，但只有两个最低的 DisplayPort 通道映射到 USB-C 连接器。DisplayPort 引脚分配 D 的电气要求需要符合 DisplayPort 标准，以支持系统所能达到的最高位速率，包括 UHBR 20、UHBR 13.5、UHBR 10、HBR 3、HBR 2、HBR 或 RBR。DisplayPort 标准中定义了该协议。引脚分配 D 仅适用于 USB-C 转 USB-C 无源和有源电缆以及具有 USB-C 插头的 DisplayPort 接收端设备。USB4 不支持引脚分配 D。

DisplayPort 源设备 (DFP_D) 引脚分配 E

DisplayPort DFP_D 引脚分配 E 与 DFP_D 引脚分配 C 相同。DisplayPort 引脚分配 E 的电气要求需要符合 DisplayPort 标准，以支持系统所能达到的最高位速率，包括 UHBR 20、UHBR 13.5、UHBR 10、HBR 3、HBR 2、HBR 或 RBR。引脚分配 E 仅适用于接受 USB-C 转 DisplayPort 无源和有源电缆插头以及此类电缆插头的插座。

DisplayPort 接收端设备 (UFP_D) 引脚分配 C

对于 UFP_D 引脚分配 C，图 27 和图 28 定义了重新配置 USB-C 连接器引脚以支持正常和反向插入 DisplayPort 时这些引脚的使用方式和配置。DisplayPort 引脚分配 C 的电气要求需要符合 DisplayPort 标准，以支持系统所能达到的最高位速

率，包括 UHBR 20、UHBR 13.5、UHBR 10、HBR 3、HBR 2、HBR 或 RBR。UFP_D 引脚分配 C 仅适用于 USB-C 转 USB-C 无源和有源电缆以及具有 USB-C 插头的 DisplayPort 源设备。

Receptacle Interface(Front View)				
B12	GND		GND	A1
B11	ML2+		ML3+	A2
B10	ML2-		ML3-	A3
B9	VBUS		VBUS	A4
B8	SBU2/AUXP		CC1	A5
B7	D-2		D+1	A6
B6	D+2		D-1	A7
B5	CC2		SBU1/AUXN	A8
B4	VBUS		VBUS	A9
B3	ML0-		ML1-	A10
B2	ML0+		ML1+	A11
B1	GND		GND	A12

图 27. UFP_D 引脚分配 C 正常插头方向

Receptacle Interface(Front View)				
B12	GND		GND	A1
B11	ML3-		ML2-	A2
B10	ML3+		ML2+	A3
B9	VBUS		VBUS	A4
B8	SBU2/AUXP		CC1	A5
B7	D-2		D+1	A6
B6	D+2		D-1	A7
B5	CC2		SBU1/AUXN	A8
B4	VBUS		VBUS	A9
B3	ML1+		ML0+	A10
B2	ML1-		ML0-	A11
B1	GND		GND	A12

图 28. UFP_D 引脚分配 C 翻转插头方向

DisplayPort 接收端设备 (UFP_D) 引脚分配 D

DisplayPort UFP_D 引脚分配 D 与 UFP_D 引脚分配 C 类似，但只有两个最低的 DisplayPort 通道映射到 USB-C 连接器。DisplayPort 引脚分配 D 的电气要求需要符合 DisplayPort 标准，以支持系统所能达到的最高位速率，包括 UHBR 20、UHBR 13.5、UHBR 10、HBR 3、HBR 2、HBR 或 RBR。DisplayPort 标准中定义了该协议。引脚分配 D 仅适用于 USB-C 转 USB-C 无源和有源电缆以及具有 USB-C 插头的 DisplayPort 接收端设备。USB4 不支持 UFP_D 引脚分配 D。

DisplayPort 接收端设备 (UFP_D) 引脚分配 E

对于 UFP_D 引脚分配 E，图 29 和图 30 定义了重新配置 USB-C 连接器引脚以支持正常和反向插入 DisplayPort 时这些引脚的使用方式和配置。DisplayPort 引脚分配 E 的电气要求需要符合 DisplayPort 标准，以支持系统所能达到的最高位速率，包括 UHBR 20、UHBR 13.5、UHBR 10、HBR 3、HBR 2、HBR 或 RBR。引脚分配 E 仅适用于接受 USB-C 转 DisplayPort 无源和有源电缆插头以及此类电缆插头的插座。对于引脚分配 E，主链路通道顺序、极性和辅助极性与引脚分配 C 相反。

Receptacle Interface(Front View)				
B12	GND		GND	A1
B11	ML0-		ML1-	A2
B10	ML0+		ML1+	A3
B9	VBUS		VBUS	A4
B8	SBU2/AUXN		CC1	A5
B7	D-2		D+1	A6
B6	D+2		D-1	A7
B5	CC2		SBU1/AUXP	A8
B4	VBUS		VBUS	A9
B3	ML2+		ML3+	A10
B2	ML2-		ML3-	A11
B1	GND		GND	A12

图 29. UFP_D 引脚分配 E 正常插头方向

Receptacle Interface(Front View)				
B12	GND		GND	A1
B11	ML3-		ML2-	A2
B10	ML3+		ML2+	A3
B9	VBUS		VBUS	A4
B8	SBU2/AUXP		CC1	A5
B7	D-2		D+1	A6
B6	D+2		D-1	A7
B5	CC2		SBU1/AUXN	A8
B4	VBUS		VBUS	A9
B3	ML1+		ML0+	A10
B2	ML1-		ML0-	A11
B1	GND		GND	A12

图 30. UFP_D 引脚分配 E 翻转插头方向

USB4

- **USB4 概述**
- **USB4 发现和进入流程**
- **USB4 系统**
- **边带通信**
- **USB4 通道和数据速率**
- **损耗预算**
- **通过 SBU1 和 SBU2 支持 DisplayPort 交替模式和 USB4**



USB4 概述

作者: Mike Campbell

USB4 标准比前几代 USB 提供了更大的带宽。通过 USB Type-C® (USB-C®) 接口, 2019 年发布的 USB4 版本 1 将聚合带宽从 USB 3.2 规范中定义的 20Gbps 增加到 40Gbps。2022 年, USB Implementers Forum (USB-IF) 发布了 USB4 版本 2, 使得对称模式下的传输速度达到了 80Gbps, 而在非对称模式下则达到了 120Gbps。凭借这种高带宽, USB4 能够在同一物理接口上对多种独立协议(例如外设组件快速互连 (PCIe)、USB3 和 DisplayPort™) 进行隧道传输。USB4 仅在 USB-C 上受支持, 但向后兼容 USB2 和 USB3.2 标准, 同时也向后兼容 Thunderbolt 3, 从而使用户能够使用现有产品。

USB4 发现和进入流程

USB4 与前几代 USB 有很大不同。在 USB-C 系统中, USB2 或 USB3.2 产品无需 USB 电力输送 (PD) 即可运行。例如, 如果您将 USB2 拇指驱动器插入不支持 USB PD 的 USB-C 端口, 您可以像将该驱动器插入 USB Type-A 接口时一样使用该驱动器。

要利用 USB4 产品的所有功能, 需要 USB PD。在发现过程中, 如果两个端口伙伴以及电缆都支持 USB4, 则下行端口 (DFP) 会向电缆和端口伙伴发出 USB PD Enter_USB 消息。如果 USB4 产品插入不支持 USB PD 的 USB-C 端口, 则 USB4 产品将在传统 USB 模式 (USB2 或 USB3.2) 下运行。

USB4 系统

USB4 系统由主机、集线器设备、外围设备和扩展坞组成, 每个扩展坞都包含一个路由器。路由器将隧道协议通信映射到 USB4 数据包, 并通过 USB4 结构路由数据包。图 31 展示了 USB4 主机、集线器和设备的方框图。

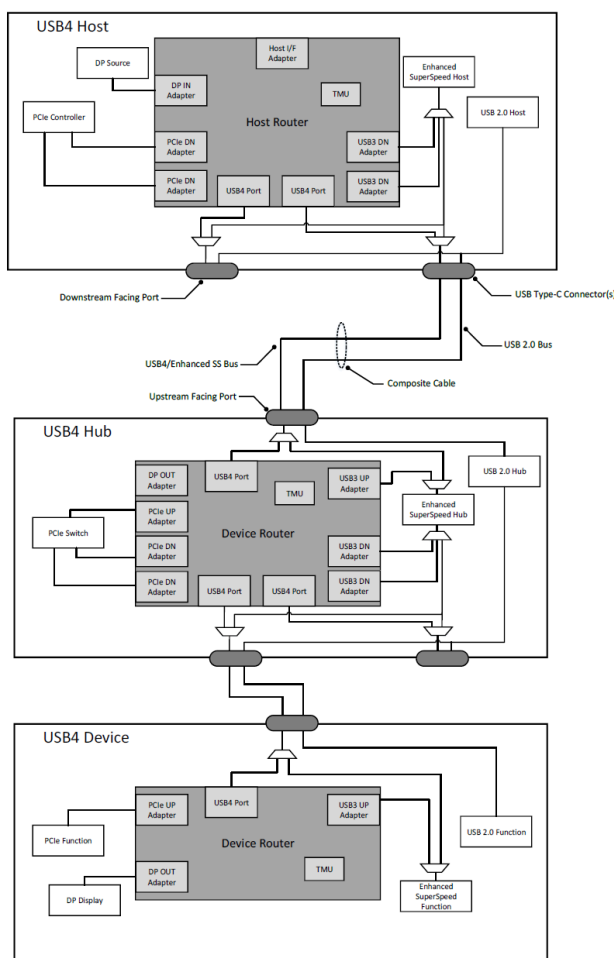


图 31. USB4 主机、集线器和设备

主机包含主机路由器、USB 主机控制器（USB3.2 和 USB2）和 DisplayPort 源端。主机可以有多个 DFP。如果支持 PCIe 隧道，主机可以选择性地包含 PCIe 控制器或 PCIe 开关。主机中包含连接管理器软件，用于枚举、配置和管理整个 USB4 域。图 32 更详细地展示了 USB4 集线器。

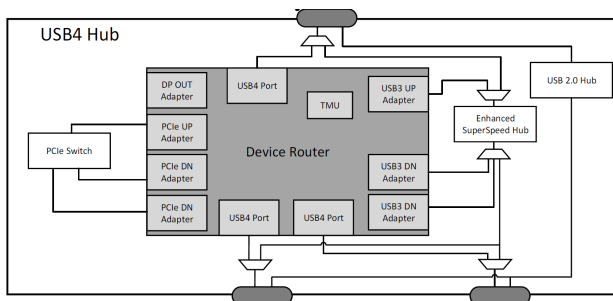


图 32. USB4 集线器

集线器有一个上行端口 (UFP)，并且与主机一样，可以有多个 DFP。集线器路由器支持 USB2、USB3、PCIe 开关和 DisplayPort™ 隧道。图 33 更详细地展示了 USB4 外围设备。

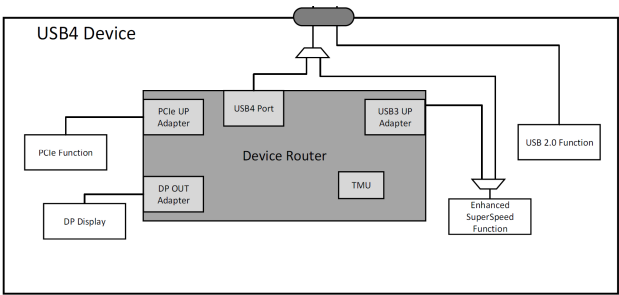


图 33. USB4 外围设备

外围设备具有单个 UFP，但没有 DFP，并可以选择包含一个或多个增强型 SuperSpeed 集线器、增强型 SuperSpeed 功能、PCIe 开关或端点或者 DisplayPort 源端或接收端功能。图 34 更详细地展示了 USB4 扩展坞

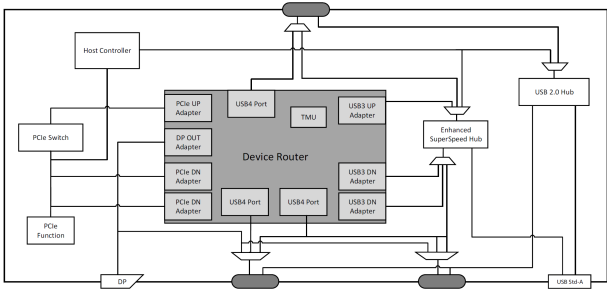


图 34. USB4 扩展坞

USB4 扩展坞与 USB4 集线器相似，具有单个 UFP 和一个或多个 DFP。与 USB4 集线器不同，扩展坞包含一个或多个协议适配器，例如 DisplayPort。

所有 USB4 组件通过 USB-C 无源或有源电缆以树状结构进行连接，其中主机位于树的顶端，集线器位于中间位置，外围设备则位于树的末端。主机和外围路由器之间最多可以有五个集线器。所有这些产品都使用边带通道进行配置。

边带通信

边带通信采用 3.3V 低压互补金属氧化物半导体 (LVCMOS) 级别 1Mbps 通用异步通用发送器 (UART)，由 10 个位组成：1 个开始位、8 个数据有效载荷位和 1 个停止位。边带事务通过 SBTX 引脚发送、从 SBRX 引脚接收，并使用 USB-C 接口的 SBU1 和 SBU2 引脚。边带通信用于以下目的：

- 判断端口是否已连接（SBRX 高电平时间 > 25μs）或已断开（SBRX 低电平时间 > 14μs）。
- 识别路由器的制造商和产品信息。
- 配置 USB4 链路的参数，例如数据速率（Gen2、Gen3、Gen4），并启用或禁用通道。
- 实现非对称支持、启动和决策。
- 发送器前馈均衡链路训练握手，并确定路由器是否已锁定。

USB4 通道和数据速率

USB4 Gen2、Gen3 和 Gen4 支持最多两个通道（通道 0 和通道 1），其中每个通道包含一个发送 (TX) 和接收 (RX) 路径。USB4 版本 2 在 USB4 Gen4 下支持非对称操作。在非对称运行模式下，通道 0 保持不变，而通道 1 被拆分为两个通道（通道 1 和通道 2），这两个通道都可配置为 TX 或 RX。当 USB4 Gen4 端口在非对称模式下运行并配置为一个 TX 和三个 RX 或者三个 TX 和一个 RX 时，其数据速率为 120Gbps。表 11 总结了所有 USB4 版本及其对应的通道和数据速率能力。

表 11. USB4 数据速率

	启用的通道数	总数据速率 (Gbps)
USB4 Gen2	1	10
	2	20
USB4 Gen3	1	20
	2	40
USB4 Gen4 对称	2	80
USB4 Gen4 非对称	3	120

损耗预算

从路由器到 USB-C 插座的所有 USB4 产品都必须将其插入损耗保持在规范定义的损耗预算范围内。USB4 的损耗预算详见下表。

表 12. USB4 的 USB Type-C 插入损耗预算

	主机 (dB)	电缆 (dB)	设备 (dB)	总计
USB4 Gen 2	5.5	12	5.5	5GHz 时为 23dB
USB4 Gen 3	7.5	7.5	7.5	10GHz 时为 23dB
USB4 Gen 4	9.5	9.5	9.5	12.8GHz 时为 28.5dB

(1) USB4 Gen2 支持长达 2m 的 USB-C 无源电缆。USB4 Gen3 和 USB4 支持长达 0.8m 的无源 USB-C 电缆。

在某些情况下，路由器和 USB-C 插座之间的插入损耗太大，需要使用称为重定时器 (RT) 的信号调节器来克服这种不足。USB4 规范允许在路由器和 USB-C 插座之间使用多达两个重定时器。USB4 规范也允许在路由器和 USB-C 插座附近的重定时器之间使用线性转接驱动器 (LRD) 来取代第二个重定时器。图 35 中展示了一些不同用例示例。

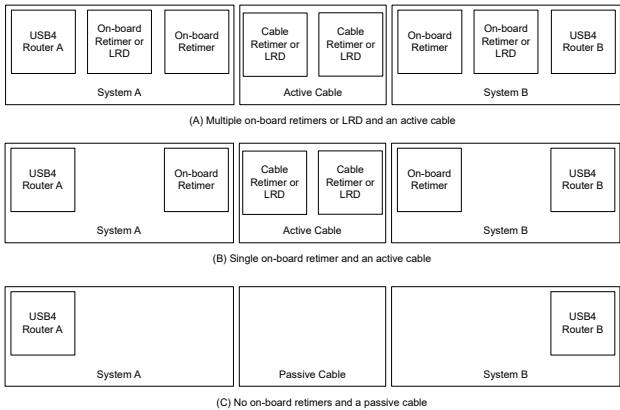


图 35. 可能的系统和电缆用例

用例 (A) 和 (B) 展示了在系统和有源电缆中使用 RT 或 LRD。用例 (C) 展示了系统或电缆中没有信号调节器。

在电缆中使用 RT 或 LRD 等信号调节器的目的是为了延长 Type-C 电缆长度，而这种长度是仅使用铜线等无源组件无法实现的。此类电缆称为有源电缆，并已在 USB-C 规范中进行了定义。

通过 SBU1 和 SBU2 支持 DisplayPort 交替模式和 USB4

USB4 主机必须能够支持传统 USB 产品以及 DisplayPort 交替模式产品，例如 USB-C 扩展坞。为了支持这两种类型的产品，主机需要通过 USB-C 的 SBU1 和 SBU2 引脚来复用 USB4 边带（SBTX 和 SBTX）和 DisplayPort 边带（AUXP 和 AUXN）。图 36 展示了如何通过 SBU1 和 SBU2 来复用 USB4 和 DisplayPort 边带信号的示例。

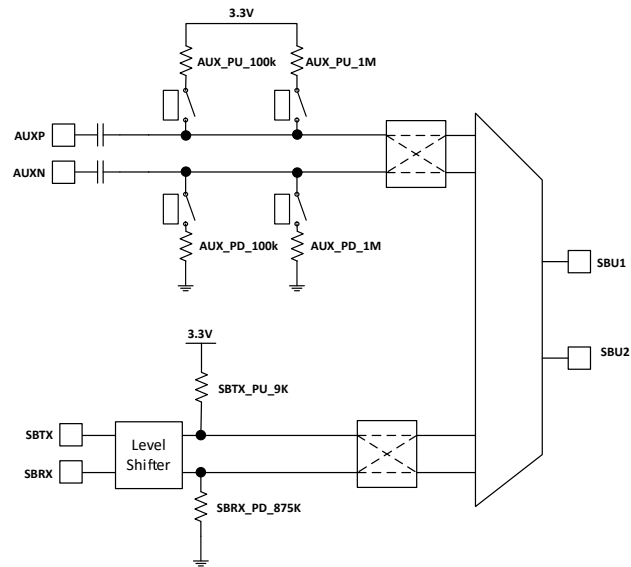


图 36. USB4 和 DisplayPort 边带多路复用

图 36 展示了 DisplayPort 规范所需的辅助偏置以及 USB4 规范所需的必要 SBTX 上拉电阻器和 SBRX 下拉电阻器。表 13 列出了这些电阻器以供参考。如果 USB4 路由器或重定时器不支持 USB-C 插座上的 3.3V LVCMOS 电平，则可能需要在 SBRX 和 SBTX 上添加电平转换器。图 36 中的部分或全部元件可以集成在重定时器或分立式边带多路复用器中。

表 13. USB4 和 DisplayPort 上拉电阻器与下拉电阻器

参数	最小值 (kΩ)	最大值 (kΩ)
SBTX 上拉电阻器	7	10.5
SBRX 下拉电阻器	700	1050
DisplayPort 源端 AUXP 下拉电阻器	10	105
DisplayPort 源端 AUXN 上拉电阻器	10	105
DisplayPort 接收端 AUXP 上拉电阻器	800	1,200
DisplayPort 接收端 AUXN 下拉电阻器	800	1,200

eUSB2 简介

- 摘要 •
- eUSB2 概述 •
- eUSB2 模式 •
- 其他特性 •



摘要

作者: Nicholaus Malone

如前几章所述, USB 3.2 和 4.0 规范允许通过 USB 总线进行高速数据传输。USB Type-C® (USB-C®) 连接器上的 SuperSpeed 通道支持这些较新的数据传输速率; 但是, USB-C 连接器上的 D+ 和 D- 通道仍支持 2000 年发布的原始 USB 2.0 规范。

尽管 USB 2.0 最大速度为 480Mbps, 但由于其高可靠性以及众多 USB 设备的互操作性, 使 USB 2.0 成为全球最常用的接口之一。USB 2.0 还具有所有现代接口中最高的 3.3V 信号电平, 这可能会在某些现代应用中带来技术挑战。在氧化物介电厚度为 7nm 及以下的技术节点中, 这种较高的电压可能损坏金属氧化物。因此, 为了解决该问题, USB Implementers Forum 于 2014 年发布了 USB 2.0 嵌入式 USB 2.0 (eUSB2) 物理层 (PHY) 补充规范。eUSB2 规范采用低压信号实现 USB 2.0 通信, 从而避免损坏敏感元件。

eUSB2 概述

eUSB2 规范引入了一些传统 USB 2.0 所不具备的功能:

- 工艺可扩展性, 通过提供低压 USB 2.0 PHY 解决方案, 避免 3.3V 输入/输出 (I/O) 信号传输问题, 从而使 USB 2.0 能够适应逐渐缩小的工艺技术节点。
- I/O 功效, 提高链路在工作和空闲状态下的功效。
- 减少 PHY 模拟内容并采用数字机制实现 PHY 功能。
- 支持 USB 2.0 设备——虽然 eUSB2 和 USB 2.0 在电气特性上不兼容, 该规范仍定义了一种机制来实现对 USB 2.0 的支持。

eUSB2 仅仅是一个 PHY 补充规范, 这意味着 eUSB2 与 USB 2.0 具有不同的电气参数。它们确实具有相同的协议层规范。eUSB2 数据包结构与 USB 2.0 相同, 并支持相同的低速、全速和高速标准数据速率。但是, 如前所述, eUSB2 的信号电压电平较低。低速和全速通信从 3.3V 降至 1.2V 或 1.0V, 高速差分摆幅则是 USB 2.0 的一半。USB 2.0 和 eUSB2 接口之间的相似性简化了实现过程, 但是不同的信号水平导致了 eUSB2 设备与传统 USB 2.0 设备在互操作性上存在问题。在本机模式下, eUSB2 设备只能与另一个 eUSB2 设备通信。

eUSB2 模式

eUSB2 设备之间有两种主要的通信模式: 本机模式和中继器模式。在 eUSB2 中, 电数据信号通过 eD+ 和 eD- 两个通道传输。在本机模式下, 主机的 eD+ 和 eD- 通道直接连接到 eUSB2 外设的收发器。两个 eUSB2 收发器彼此直接通信, 如图 37 所示。

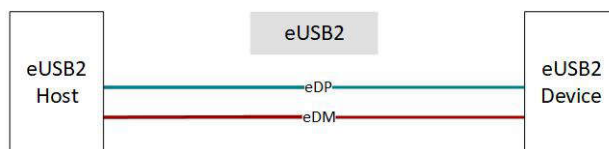


图 37. 本机模式

本机模式主要用于芯片间互连, 不支持与 USB 2.0 设备的互操作性。如果需要支持 USB 2.0 通信, eUSB2 规范定义了 eUSB2 中继器以实现向后兼容性。

eUSB2 中继器是一种“转换器”，用于在 eUSB2 和 USB 信号之间进行转换，从而使 eUSB2 和 USB 2.0 设备能够进行通信。与 USB 2.0 不同，eUSB2 低速和全速通信采用单端信号传输。从差分信号传输切换到单端信号传输意味着 eUSB2 中继器不是简单的 3.3V 至 1.2V 电压电平转换器。

eUSB2 中继器必须可以配置为主机中继器或外设中继器。配置中继器可以确定它在 USB 架构中的角色。每个 USB 总线仅允许一个 eUSB2 主机。如果 eUSB2 中继器通过 eUSB2 接口连接到主机，则主机会将其配置为主机中继器，如图 38 所示。配置完成后，eUSB2 主机可以与连接到中继器的下游 USB 2.0 设备进行通信。

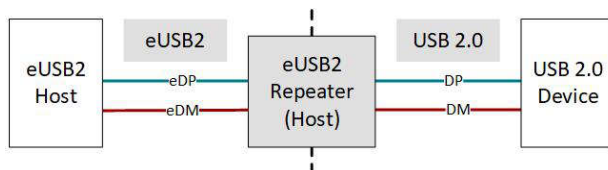


图 38. 主机中继器模式

与 USB 主机不同，USB 总线中可能有多个外设。eUSB2 中继器必须配置为外设中继器，以便每个 eUSB2 外设可以与 USB 2.0 主机通信，如图 39 所示。

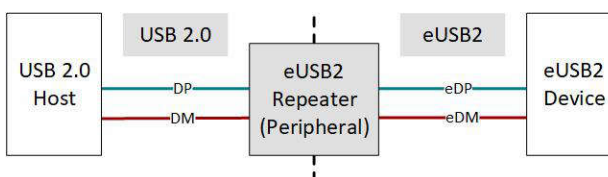


图 39. 外设中继器模式

eUSB2 中继器能够动态配置为主机或外设中继器，因此可在双角色应用中使用 eUSB2 中继器，其中连接的 eUSB2 设备可以用作主机或外设。这是一种双重角色功能，通常用于移动应用。

单个 USB 2.0 链路中也可以同时存在 eUSB2 主机和 eUSB2 外设。对于需要 USB 电缆的应用，主机和外设都可能需要中继器。eUSB2 接口专为芯片间互连而设计，与 USB 电缆不兼容。如果主机和外设都支持 eUSB2，这可能会形成背对背中继器应用，如图 40 所示。

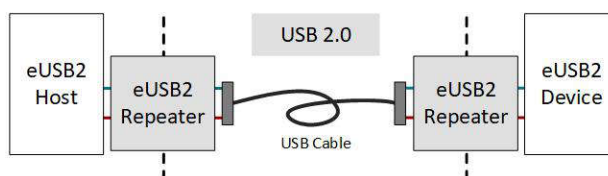


图 40. 背对背中继器应用

这在移动电子产品中最为常见，其中笔记本电脑、手机或平板电脑通常都具有双重角色功能。中继器支持 eUSB2 主机和 eUSB2 外设通过 USB 电缆使用 USB 2.0 接口相互通信。

其他特性

eUSB2 中继器必须响应控制消息，这些消息是用于配置后控制中继器状态机的 eUSB2 信号模式。但 CM.RAP 例外，控制消息不用于本机模式。这些消息不会被转发至 USB 2.0 总线，仅供 eUSB2 中继器或外设接收和解释。

寄存器访问协议 (RAP) 是 eUSB2 中推出的一项可选功能，旨在进一步简化实现。CM.RAP（如表 1 所示）是用于访问 RAP 接口的控制消息。通常使用 I²C 接口进行配置。RAP 可以直接通过 eUSB2 访问 eUSB2 中继器或外设的寄存器空间，而无需单独实现 I²C 接口。此供应商定义的寄存器空间可以通过发出 CM.RAP 命令以及相应的操作数和目标寄存器地址来修改。RAP 使系统设计人员能够省去 I²C 通信通常所需的组件和通用 I/O 引脚，从而降低系统成本并节省空间。

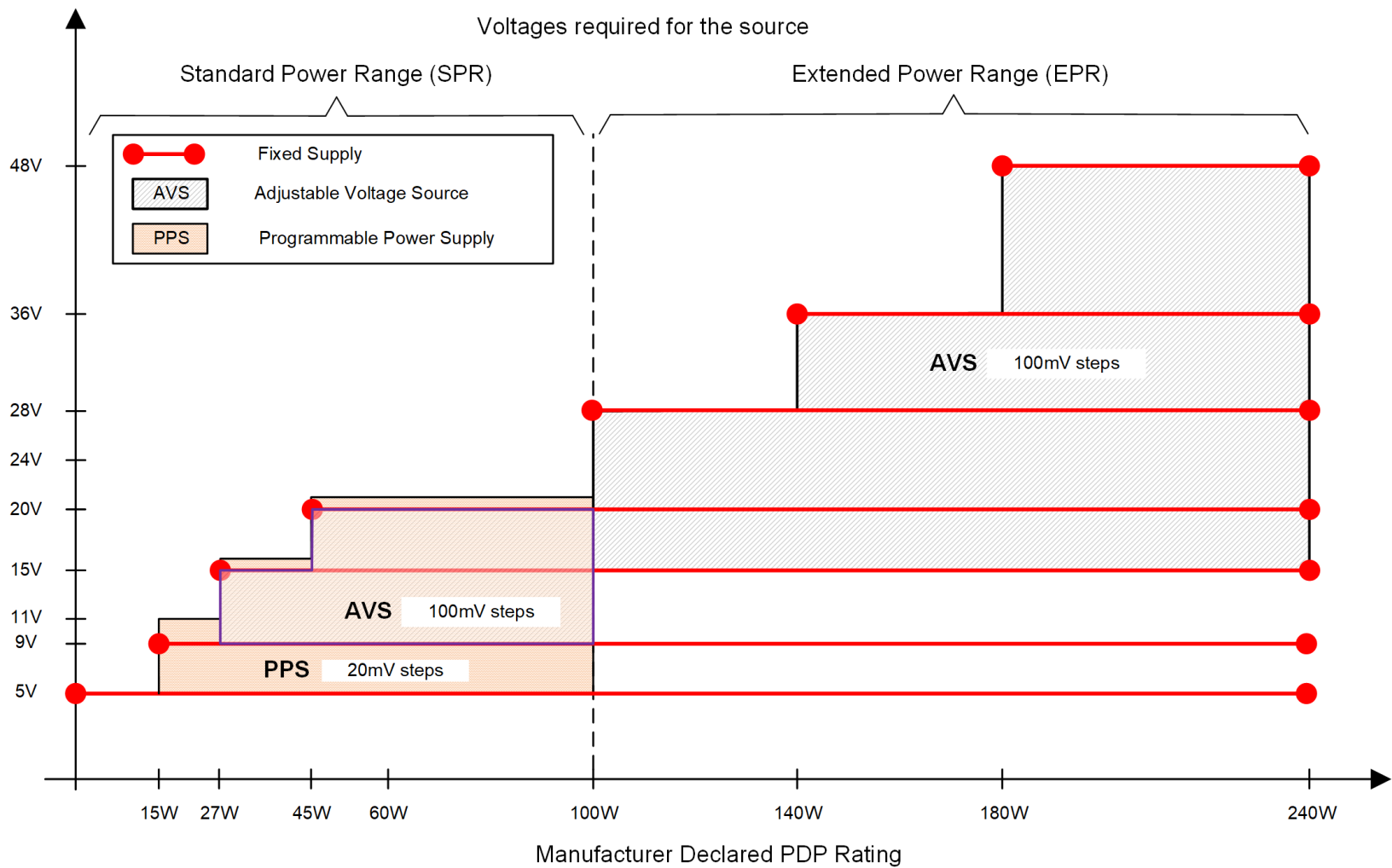
表 14. eUSB2 控制消息

控制消息名称	说明
CM.FS	恢复为全速终端
CM.L1	进入 L1 电源状态
CM.L2	进入 L2 电源状态
CM.Reset	USB 2.0 总线复位
CM.Test	强制启用高速终端
CM.RAP	开始 RAP 访问

虽然 eUSB2 仍然是一个相对较新的接口，但随着现代处理器技术节点继续缩小到 7nm 以下，预计 eUSB2 主机、设备和中继器的数量将会增长。

扩展功率范围 (EPR)

- 摘要
- 什么是 EPR?
- 技术规格
- 安全影响 >100W
- 处理与 TI PD 控制器的功率协商
- 结语



摘要

作者: Taylor Vogt、Adam McGaffin

在本节中，我们将重点介绍在使用 USB-C® 接口实现更高功率应用方面的一些最新进展。扩展功率范围 (EPR) 于 2021 年被纳入 USB 电力输送 (PD) 3.1 USB Implementers Forum (IF) 规范[CCH1] 中，它使 USB-C 连接器的最大功率从 100W 增加至 240W。我们将首先介绍 EPR 的基础知识及其与标准 USB-C 的区别，然后详细说明其技术规格和功率协商序列

什么是 EPR?

直到最近，USB PD 3.0 规范仍然允许通过经认证的 USB-C 端口和电缆上以高达 100W（20V，5A）的水平进行双向功率和数据传输。最新的 USB PD 3.1 规范将通过 USB-C 电缆传输的这个功率上限增加至 240W (48V/5A)。

之前的 USB PD 范围称为标准功率范围 (SPR)，而新的功率范围（100W 至 240W）称为 EPR。这意味着一个显著的改进，使得耗电量大的设备能够采用 USB-C 接口。此外，这也有可能减少笨重电源适配器的数量，转向使用单一的 USB-C 电缆。**表 15** 展示了新 EPR 与原始 SPR 的比较情况。

表 15. SPR 和 EPR 固定电压范围

功率范围	可用电流和电压	PDP 范围	注释
标准功率范围 (SPR)	3A: 5V、9V、15V、20V 5A ⁽¹⁾ : 20V	15W - 60W >60W - 100W	
扩展功率范围 (EPR)	3A ⁽²⁾ : 5V、9V、15V、20V 5A ⁽²⁾ : 20V 5A ⁽²⁾ : 28V、36V、28V	15W - 60W >60W - 100W >100W - 240W	需要进入 EPR 模式。

- (1) 需要 5A 电缆。
- (2) 需要 EPR 电缆。

技术规格

EPR 可支持高达 240W 的功率（28V、36V 和 48V @ 5A）。EPR 模式对受电方设备评估和响应新的供电方能力消息的要求与典型的 USB PD 合约协商中的要求相同。进入 EPR 模式后，端口会协商一个高达 240W（48V、5A）的电力输送对象 (PDO)。在考虑设计安全裕度时，这个 48V 限值代表了实际限值。

除了扩展范围中的固定电压电平扩展之外，电源还必须遵循可调电压电源 (AVS) 的规格。在 EPR 模式下，AVS 使受电方能够以 100mV 的步长在 9V 和 48V 之间微调最佳电压，以提高性能和热效率，从而让受电方可以灵活地接收来自任何充电器的电压。这样一来，设计人员就需使用定制适配器，就为其电子设备生态系统提供一致的用户体验。可编程电源 (PPS) 与 AVS 类似，不过它可以在 5V 至 20V 范围内以 20mV 为步长调节电压。虽然两者相似，但它们并非用于相同的应用场景。PPS 需要电流限制（50mA 步长，±5%），而 USB-IF 认证充电器不需要包含 PPS。USB-IF 认证了两种充电器：一种带有 PPS 的“快速充电器”和不带 PPS 的“充电器”。

图 41 展示了 SPR 和 EPR 功率级别之间的关系，以及 AVS 和 PPS 如何与这些功率范围重叠。

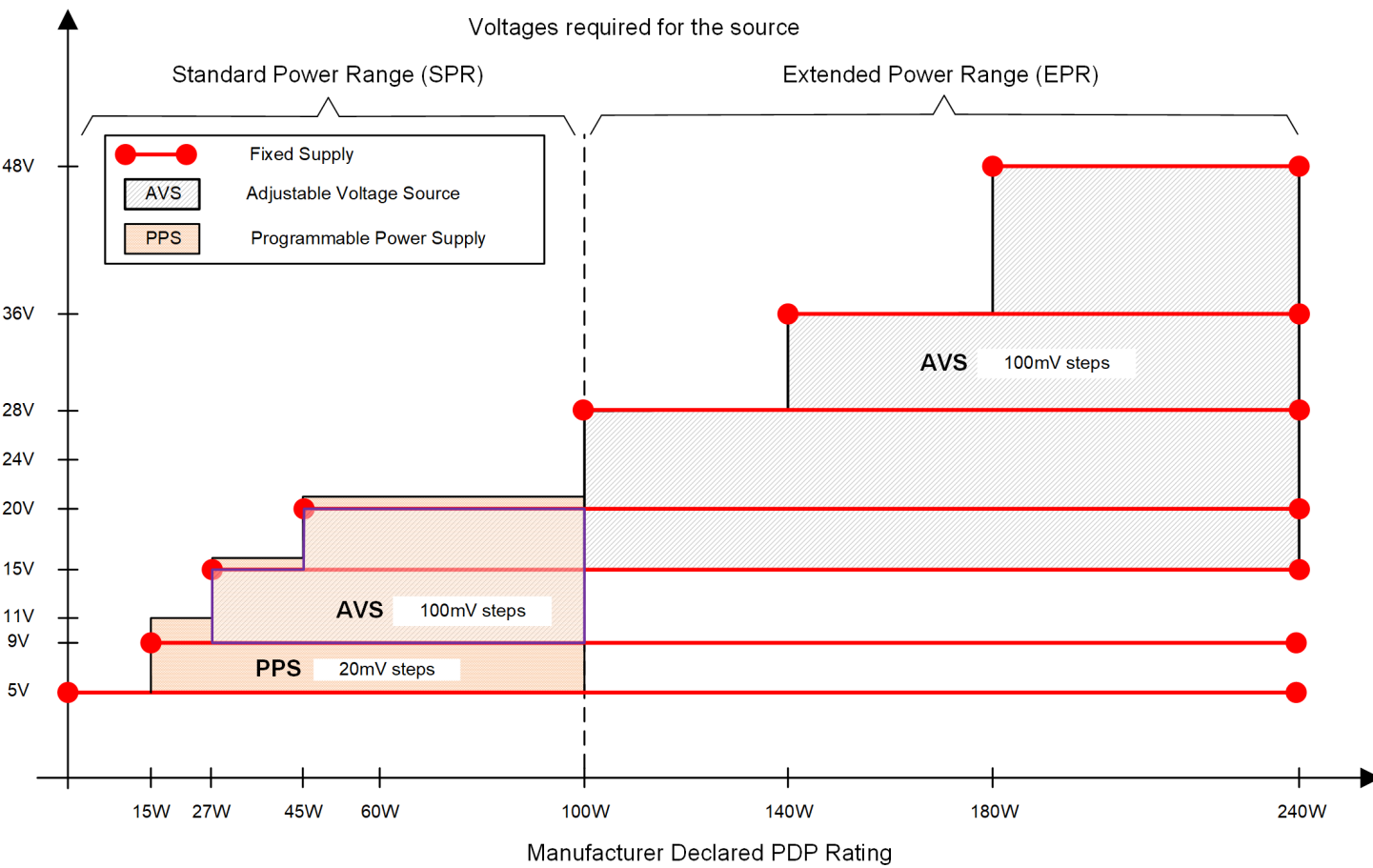


图 41. SPR 和 EPR 的 AVS 和 PPS 范围

安全影响 >100W

除了供电和电源要求外，对于超过 100W 的应用，还有额外的机制来确保符合安全标准。具体而言，电缆需要额外满足支持 EPR 的要求。EPR 兼容电缆必须带有图 42 中所示的标志，这已不再是可选项；消费者可以通过电缆上的标志识别电缆是否能够安全地支持高达 240W 的功率。通常，这意味着电缆设计可能包括额定电压更高的旁路电容器和额外的缓冲电路，以减少在较高电压下更有可能发生的瞬变和振铃现象。这还意味着 5A 额定电缆将逐渐淘汰；最终，USB-IF 将不再认证原先的 20V/5A 电缆。这一决定将推动市场统一到所有 5A 电缆均支持 EPR 的局面，同时减少消费者在选择电缆时的困扰。这些电缆仍可向后兼容旧的 USB 生态系统设备，但前提是与通过 USB-IF 认证的 USB PD 控制器搭配使用。

Certified USB Logo Program			
For certified solutions based upon the USB4™, USB Type-C® and/or USB Power Delivery Specifications			
	Packaging Logo Examples	Cable/Port Logo Examples	Combined USB4™ Data/Watts Logo Examples
Certified USB4™ 40Gbps*			
Certified USB Type-C® 240W Cable*			
Certified USB 240W Charger		N/A	N/A

* Certified Logos available for USB Type-C® 60W Cables and USB4™ 200Gbps solutions.

** Only for use on Certified USB Type-C® Cables.

USB4™, USB Type-C® and USB-C® are trademarks of the USB Implementers Forum.

USB Implementers Forum © 2021

图 42. USB 标志认证计划

对于超过 100W 的应用，在接受合约之前进入 EPR 模式必须注意一些限制。新的握手机制旨在确保任何握手过程中的单个错误都不会导致进入 EPR 合约（从而满足安全监管要求）。这种新的握手机制还能确保旧受电方不会意外地请求 EPR 合约。

处理与 TI PD 控制器的功率协商

EPR 功率协商在要约、请求和接受或拒绝方面类似于如今的 USB PD 序列。但是，在达成 EPR 合约之前，必须先达成 SPR 合约。新的 EPR 协商流程包括确认电缆是否支持 EPR 以及供电方是否可以提供这些扩展功率级别。图 43 展示了一般合约握手流程示例。

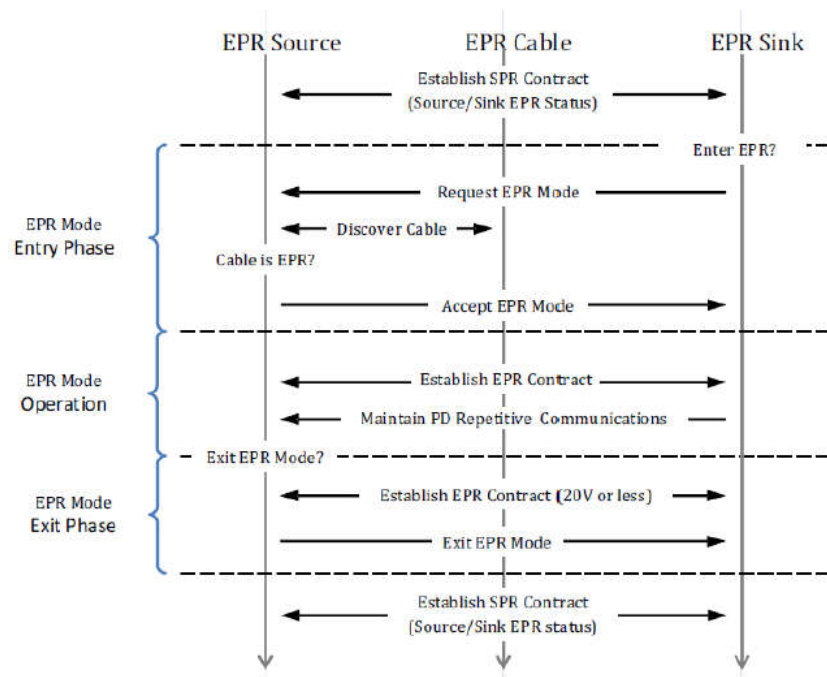


图 43. EPR 协商序列

受电方侧将进入 EPR 模式。如果受电方没有先请求并引导进入 EPR 模式，则供电方侧无法强制进入该模式。之后，供电方会验证受电方和电缆是否支持 EPR，然后才会提供任何扩展电压。为了验证这一点，受电方侧发送的 EPR 请求消息中包括

一个 PDO 副本，用于验证其功能以及电缆和受电方是否支持 EPR。进入 EPR 模式后，受电方必须大约每隔半秒发送一次“保持活动状态”消息，以确认双方均已打开并处于活动状态。如果供电方在大约一秒钟内没有收到此消息，则供电方会发起硬复位，然后回到默认的 SPR 模式并以 5V 电压工作。

TI 与 USB-IF 密切合作，以确保这项新技术的安全性。为了帮助验证新 EPR 协商流程的安全性，多位功能安全专家独立审核了 240W 功能。最重要的是，在进入 EPR 模式之前，供电方无法提供 EPR 支持的电压。EPR 要求使用新定义的 USB PD 消息并按特定序列进行操作，以便成功协商超过 20V 的 USB PD 合约，同时确保单一消息传递错误不会导致协商出高于 20V 的电压。

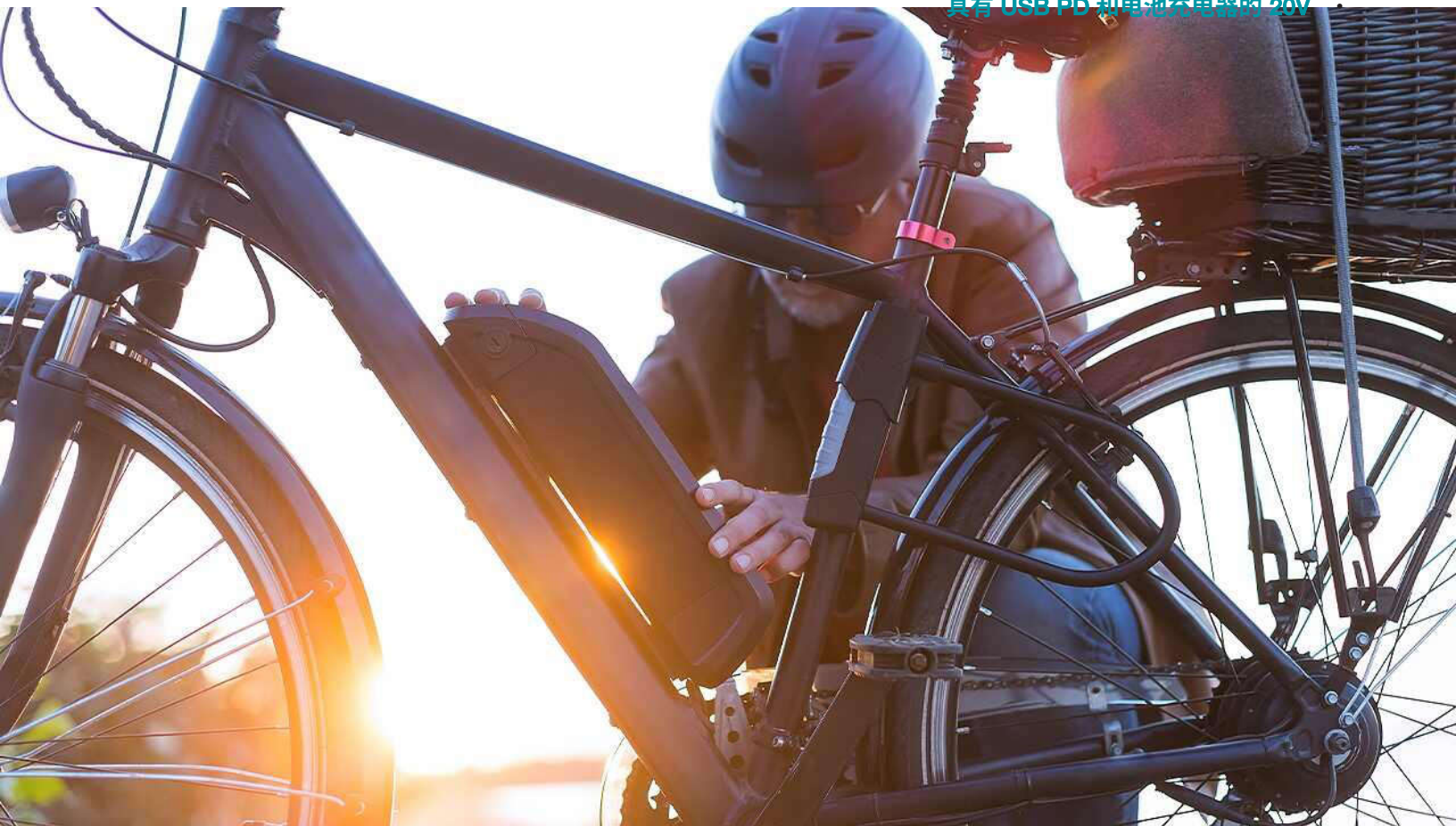
有关新 EPR 协商序列的更多详细信息，请查看 [USB-PD 规范](#)。

结语

EPR 是 USB-C 生态系统的一项重要新发展。这些扩展的电压电平支持更高功耗的应用，从而扩大了 USB-C 接口的使用范围。尽管在新布线规范和电源路径设计方面存在一些挑战，但其出色的灵活性和向后兼容性，应该能够为 USB-C 接口的普及奠定坚实的基础。

USB Type-C® 和 USB 电力输送常见用例和方框图

- 5V USB-C 仅供电方端口（无 USB PD） •
- 基本功能块 •
- 具有 USB 3.0 数据功能的 5V USB-C 仅供电方端口（无 USB PD） •
- 5V USB-C 仅受电方端口（无 USB PD） •
- 5V USB-C DRP（无 USB PD） •
- 具有 USB PD 的 20V USB-C 仅供电方端口 •
- 具有 USB PD 的 20V USB-C 仅受电方端口 •
- 具有 USB PD 和 DisplayPort™ 交替模式的 5V 供电方、20V 受电方 USB-C 端口 •
- 具有 USB PD 和电池充电器的 20V •



5V USB-C 仅供电方端口（无 USB PD）

作者：Eric Beljaars、Adam McGaffin

将传统 USB Type-A 端口升级为 USB-C 端口后，产品不仅拥有纤薄的双向连接器优势，还能提供更高的功率输出。标准 USB-C 供电方端口可以支持高达 15W 的功率（5V，3A）。同时也有多种解决方案支持 5V、1.5A 的输出能力。

基本功能块

通过在配置通道 (CC) 线路上添加上拉或下拉电阻，可以建立 USB-C 连接。USB-C 仅供电方端口需要在 CC 线路上添加一个上拉电阻器，称为 R_p 。 R_p 的值将根据要广播的电流大小而变化。USB-C 仅供电方端口支持的最常见电流电平是默认 USB 电源（USB2 为 500mA，USB3 为 900mA）、1.5A 和 3A。USB Type-C 规范的“端接参数”部分列出了这些电流值所分别对应的 R_p 电阻值。

通常，在为 5V USB-C 仅供电方端口设计系统时，CC 控制器 IC 将确保在 CC 线路上自动添加正确的 R_p 值。

除了在 CC 线路上添加 R_p 外，5V USB-C 仅供电方端口还需要具备防护功能，以防止不符合规范的受电设备拉取超过 R_p 协商的电流。例如，在提供 3A 的 R_p 时，所连受电方设备必须确保其消耗的电流不超过 3A。尽管受电方负责确保不超过协商的电流电平，但如果不符合标准的受电设备拉取的电流大于协商的电流，供电方实际上负责提供过流保护。

这种电流限制可以通过多种方法来实现。例如，您可以设计一种具有某种形式电流测量的独立电源路径，或者使用具有集成式电流限制的负载开关。最简单的方法是使用具有集成电源路径的 CC 控制器，这将确保根据 R_p 值自动实现电流限制。

要实现 5V USB-C 仅供电端口，需要两个关键模块：CC 控制器和 5V 负载开关。请参阅图 44。

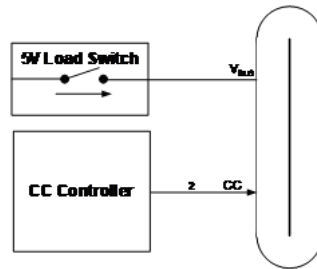


图 44. 5V 仅供电方设计方框图

具有 USB 3.0 数据功能的 5V USB-C 仅供电方端口（无 USB PD）

在 5V USB-C 仅供电方端口上实现 USB 3.0 数据速率功能时，需要一个额外的系统块，即 USB 3.0 多路复用器。USB 3.0 使用 USB-C 连接器的 SSTX 和 SSRX 引脚。为了将正确的引脚路由到系统内的 USB 3.0 物理层 (PHY)，CC 控制器会控制多路复用器来处理 USB-C 连接器的双向翻转。CC 控制器具有通用输入/输出 (GPIO)，用于指示 CC 极性。CC 控制器的该 GPIO 输出连接到多路复用器的极性控制输入。

除了需要多路复用器外，支持 USB 3.0 数据的 USB-C 端口还需要支持 V_{CONN} ，因为 USB 3.0 电缆通常包含电子标记或有源转接驱动器，而这些由 V_{CONN} 供电。请注意， V_{CONN} 会在未使用的 CC 引脚上提供。虽然可以通过使用另一个负载开关或电源路径来独立实现 V_{CONN} ，但添加 V_{CONN} 功能的最简单方法是使用具有集成 V_{CONN} 电源路径的 CC 控制器，如图 45 所示。

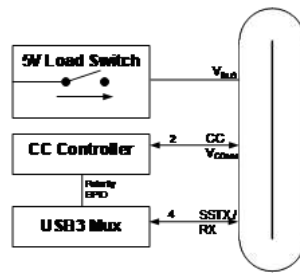


图 45. 具有 USB3 多路复用器的 5V 供电方设计方框图

在支持任意方向的 USB 3.0 数据功能时，都需要支持 V_{CONN} 并包含 USB 3.0 多路复用器。USB 3.0 多路复用器的类型会有所不同，具体取决于您需要的是上行端口还是下行端口。但是，CC 控制器和 USB 3.0 多路复用器之间的 GPIO 接口保持不变（通过单个 GPIO 指示极性）。由于这些分层要求完全相同，因此接下来关于不支持 USB PD 的 5V USB-C 仅供电方端口的内容将重点讨论电源架构的差异。

5V USB-C 仅受电方端口（无 USB PD）

实现支持接收高达 15W 功率的 USB-C 端口时，设计上可能与仅供电解决方案有很大不同，具体取决于 USB-C 端口所在系统的要求。通常，如果要想实现 USB-C 仅受电方端口，则可能需要使用该 USB-C 端口提供的电源来为整个系统供电。

实现 5V USB-C 仅受电方端口时，有时只需在 CC 线路上放置两个 R_d 电阻器即可满足需求。在其他情况下，所需的电路模块设计与 5V USB-C 仅供电方端口实现中非常相似。影响该解决方案的两大关键因素是 V_{BUS} 上的电容大小，以及是否需要支持 USB 3.0 数据。

在最简单的状态下，可通过将 R_d 电阻器 (5.1k Ω) 连接到 USB-C 连接器上的每个 CC 引脚来实现 5V USB-C 仅受电方端口。然而，只有当 V_{BUS} 上的电容小于 10 μ F 时，这种方法才可行。如果系统的电容超过 10 μ F，则需要通过电源路径或负载开关来隔离该附加电容，并在建立 USB-C 连接时启用该隔离。尽管可以通过独立方式检测此连接，但最简单的方法是使用 CC 控制器来检测 USB-C 是否作为受电方连接。典型的 CC 控制器具有 GPIO 输出，用于根据连接状态控制电源路径。

另一种需要 CC 控制器的情况是您需要 USB 3.0 数据支持。与具有 USB 3.0 数据功能的 USB-C 仅供电方示例一样，此处也需要单独的 USB 3.0 多路复用器。为了控制该多路复用器，可能需要一个 CC 控制器。

图 46 根据 V_{BUS} 电容和 USB 3.0 要求，重点介绍了实现 5V USB-C 仅受电方端口所需的各种模块。

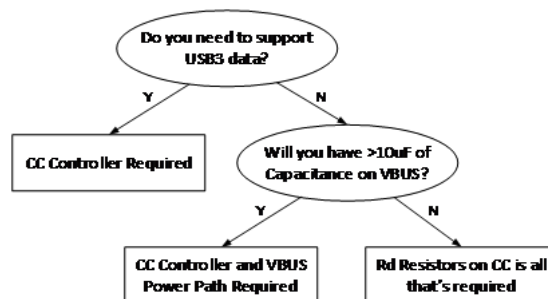


图 46. CC 控制器选择

5V USB-C DRP（无 USB PD）

如果 USB-C 端口必须既能提供输出功率（供电方），又需要消耗功率（受电方），则必须实现 USB-C 双角色端口 (DRP)。同样，您可能需要一个 CC 控制器。支持 DRP 功能时，CC 线路在建立连接之前会主动在 R_p 和 R_d 之间切换，这

称为 CC 切换。实际上,如果您将双角色端口插接到 CC 上提供 R_d 的仅受电方设备上,则 CC 切换会停止并在其切换到 R_p 时建立连接。当连接仅供电方端口时,情况则恰好相反。如果将两个 DRP 端口连接在一起,对于哪个端口作为供电方,哪个端口作为受电方,会因两条切换 CC 线路的最终状态而存在一定随机性。如果系统对电源状态有特定要求,最好实现这样一个 USB-C 端口,即在连接到另一个 DRP 后,若出现端口角色错误,可以随时发起电源角色或数据角色切换。

就电源架构而言,DRP 系统可能倾向于使用两条单独的电源路径,然后电源路径由 DRP CC 控制器进行控制。在这种情况下,系统中的专用 5V 电源轨连接到供电电源路径,而单独的受电电源路径可以连接到电池充电器或其他系统电源轨等。请参阅图 47 中的系统方框图。如果您需要 USB 3.0 数据功能,系统中还将需要 V_{CONN} 和 USB 3.0 多路复用器

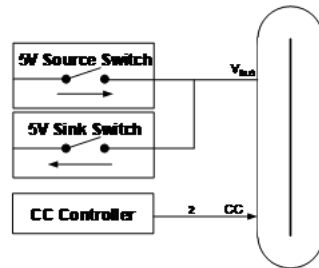


图 47. 5V 双角色端口方框图

在某些情况下,如果系统的电源架构允许,您可以改用双向电源路径。例如,某些电池充电器支持 On-The-Go 模式,使其能够双向运行。在这样的情况中,应使用双向电源路径。

具有 USB PD 的 20V USB-C 仅供电方端口

一旦功率超过 15W,就需要从标准 USB-C 控制器升级至 USB PD 控制器。要支持超过 15W 的功率,需要在端口伙伴之间进行 USB PD 协商,以确保两端都可以支持该功率。

许多类型的终端设备(交流/直流适配器、扩展坞、汽车充电端口和壁式插座)都可以在仅供电方实现中提供 20V 的功率。任何旨在为所连设备供电的设计都会以这种方式实现其 USB PD 系统。尽管从数据的角度来看,这些应用的要求可能不同,但它们都有一个共同的要求,即通过 USB-C 电缆提供 >15W 的功率。

设计具有 USB PD 的 20V USB-C 仅供电方端口时,需要记住 USB-IF 的一些规格会影响系统级设计。

对于 USB PD 仅供电方端口,CC 线路上的初始连接和 R_p 要求与不带 USB PD 的 5V USB-C 仅供电方端口相同。要支持超过 5V 的电压,需要进行 USB PD 协商。根据所协商的电压,USB PD 控制器需要调整可变电源的输出,以提供所需的输出电压。

USB PD 规范要求输出电压需要在协商的电源数据对象(PDO)的 $\pm 5\%$ 范围内。图 48 是具有 USB PD 的 20V USB-C 仅供电方端口设计的典型方框图。您可以看到现在存在一个 USB PD 控制器,而不是 CC 控制器,因为需要 USB PD 控制器来处理 USB PD 协商。此外,这里还有一个 20V 负载开关,就像 5V 仅供电方设计中一样,供电方侧仍负责管理 USB PD 规范中规定的过压、欠压和过流保护。

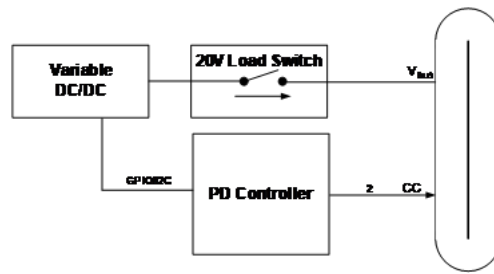


图 48. 20V USB PD 仅供电方设计方框图

USB PD 控制器应根据与所连设备协商的电压来控制可变直流/直流电源。USB PD 控制器可以通过 GPIO 或 I²C 实现此目的。多个 TI USB PD 评估模块举例说明了 USB PD 控制器与直流/直流电源如何相互连接来实现这一点。

另一个设计注意事项是如何确保覆盖所需的 PDO 电压，具体取决于 20V USB-C 仅供电方端口提供的功率。所需的离散电压电平为 5V、9V、15V 和 20V。电流可能会连续变化，具体取决于所需的功率等级（电流最大为 3A）。在给定的任何功率等级下，都需要供电方支持以前的所有电压和功率等级。例如，60W 供电方必须能够在 3A 时提供 20V 电压，在 3A 时提供 15V 电压，在 3A 时提供 9V 电压以及在 3A 时提供 5V 电压。这是 USB PD 规范 3.0 版的更新，用于确保功率较高的电源能够支持功率较低的供电设备。

根据系统架构的不同，可以使用不同的电源。例如，对于交流/直流壁式适配器，USB PD 控制器通常可以直接控制交流/直流转换器的直流输出电压，从而确保电压根据 USB PD 协商处于正确的水平。对于具有直流电压轨的系统，您可以使用降压直流/直流转换器或降压或升压直流/直流转换器。

要通过 USB-C 电缆支持大于 3A 的电流，还需要考虑一些额外的系统级注意事项。如果您的系统具有带可拆卸 USB-C 电缆的 USB-C 端口，则需要能够在 CC 引脚上提供 V_{CONN}。为了支持 >3A 的电流，您连接的电缆需要能够支持 >3A 的电流。支持 >3A 的电缆内置电子标记芯片，该芯片用于存储电缆的功能信息。要为此电子标记供电并读取其内容，需要使用 V_{CONN}。许多 USB PD 控制器都集成专用的 V_{CONN} 电源路径，并且在 USB PD 协商过程中会自动打开 V_{CONN}。

如果具有 USB PD 的 20V USB-C 仅供电方端口设计具有硬接线电缆或所谓的固定电缆，则可以支持 >3A 而无 V_{CONN}。固定电缆是一种不可拆卸的电缆。在这种情况下，您无需考虑支持各种不同的电缆，并且始终知道永久连接电缆的功能。

添加对 USB 3.0 数据的支持时，请遵循“具有 USB 3.0 数据的 5V USB-C 仅供电方端口（无 USB PD）”一节中所述的相同方法：添加 USB 3.0 多路复用器以控制系统内 USB 3.0 SuperSpeed 数据引脚的翻转。

具有 USB PD 的 20V USB-C 仅受电方端口

具有 USB PD 的 20V USB-C 仅受电方端口比供电方端口更易于设计。根据 USB PD 规范，供电方端口需要管理大多数电源保护并控制电缆上的电压。受电方侧主要以 PDO 的形式请求连接的供电方提供电压或电流，并完成 USB PD 协商。

在该实现中，系统可能会从 USB-C 端口获得电源。随着 USB-C 的广泛应用以及一些国家/地区现在强制要求采用 USB-C 连接器，那些过去由桶形插孔、同轴电缆或其他专有直流输入供电的设备现在必须通过 USB-C 端口进行充电。一些终端设备示例包括 Wi-Fi® 适配器、Bluetooth® 扬声器、电动自行车和电动踏板车。

与 5V USB-C 仅受电方端口类似，USB PD 仅受电方端口也可能需要实现电源路径。具体是否添加电源路径将取决于 V_{BUS} 上的电容大小。根据 USB-IF 规范，V_{BUS} 上的电容不得超过 10μF，因此如果您的系统需要更多电容，就需要添加电源路径，以将系统电容与 V_{BUS} 隔离开来。

图 49 是一个基本的系统级方框图，用于实现具有 USB PD 的 20V USB-C 仅受电方端口设计。USB-C 5V 仅受电方设计与具有 USB PD 的 20V USB-C 仅受电方端口设计之间的主要区别在于，负载开关可扩展至 20V，并且您需要 USB PD 控制器而不是 CC 控制器。

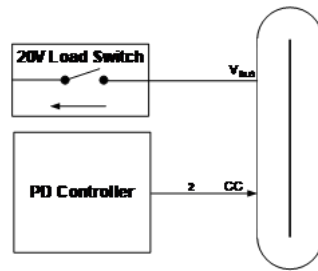


图 49. 20V USB PD 仅受电方设计方框图

此外，为了支持 USB 3.0 数据，还需要添加多路复用器。

具有 USB PD 和 DisplayPort™ 交替模式的 5V 供电方、20V 受电方 USB-C 端口

在笔记本电脑或 PC 实现中，一个 USB-C 端口可以实现多种功能：既能灌入 USB PD 电压来为电池充电，也能提供至少 5V 的电压来为鼠标、键盘和闪存驱动器等小型设备供电，同时还能用来连接显示器。可以很明显地看出，USB-C 端口具有具备强大的功能和灵活性，能够满足最终用户对某些终端设备的期望。

图 50 展示了这类系统的电源架构。系统中通常存在多条不同的电源路径：一个用于提供 5V 电压，另一个用于接收高达 20V 的电压。如果系统中只有一个 USB-C 端口，则可以实现单个电源路径，而不是两个单独的电源路径。在这种情况下，您需要电池充电器提供双向支持，并且包括 On-The-Go 支持。大多数需要 5V 供电方能力和 20V 受电方能力以及 DisplayPort 交替模式支持的系统都有多个 USB 端口。

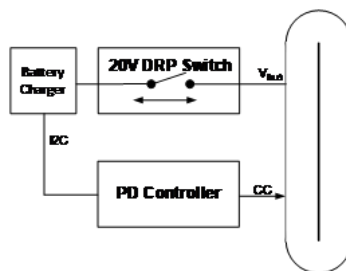


图 50. 5V 供电方 20V 受电方 USB PD 方框图

如果终端设备有多个 USB 端口，共享的 5V 电压轨可以为 USB Type-A 和 USB-C 端口提供电源。在为连接的设备提供 5V 电压时，您需要根据每个 USB 端口支持的最大电流来计算此 5V 直流/直流电源的功率预算。

通过将受电电源路径连接到电池充电器，不仅可以将电池充电器的电容与 V_{BUS} 隔离开来，同时还能在用户连接交流/直流适配器时确保电池充电器可以接收电源。

与前面的示例一样，USB PD 控制器将具有集成的电源路径或提供通过 GPIO 控制它们的方法。一些 USB PD 控制器提供 N 沟道场效应晶体管 (NFET) 栅极驱动器来直接驱动外部 NFET。

图 50 也表明 USB PD 控制器具有提供 V_{CONN} 的能力。USB PD 仅供电方设计在电流超过 3A 时需要 V_{CONN} 。但是，要增加对 DisplayPort 交替模式的支持，需要 V_{CONN} 来确定电缆的数据能力，而不是功率能力。与具有 USB 3.0 数据的 5V

USB-C 仅供电方端口示例类似，务必要确认所连电缆也能够支持 DisplayPort 交替模式。V_{CONN} 需要为电缆中的电子标记供电，以便回读其功能。

图 51 展示了一个更完整的方框图，其中包括电源块和数据块，用于实现具有 USB PD 和 DisplayPort™ 交替模式的 5V 供电方、20V 受电方 USB-C 端口设计。

图 51 中的最后一个块是 DisplayPort 交替模式多路复用器。与之前的情况一样，DisplayPort 交替模式也使用 USB-C 连接器上的 SuperSpeed 引脚来传输视频数据。

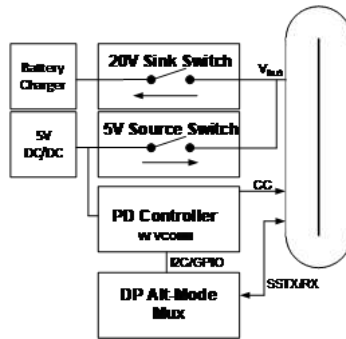


图 51. 具有 DisplayPort™ USB PD 的 5V 供电方 20V 受电方设计方框图

DisplayPort 交替模式包括几种不同的引脚配置，这些配置有助于确定 SuperSpeed 引脚在支持 USB 3.0 或 DisplayPort 视频数据之间的分配方式。部分引脚配置通过将所有 SuperSpeed 对专用于 DisplayPort 来为 DisplayPort 实现最大带宽，而另一些引脚配置则拆分 SuperSpeed 对来同时支持 USB 3.0 和 DisplayPort 数据功能。DisplayPort 规范进一步详细介绍了 USB-C 上支持的引脚配置。

DisplayPort 交替模式多路复用器将多个 SuperSpeed 引脚多路复用到 DisplayPort 主机或 USB 主机，具体取决于在 DisplayPort 交替模式中协商的引脚分配。与其他外设一样，USB PD 控制器通过 I²C 或使用 GPIO 与 DisplayPort 交替模式多路复用器通信来对其进行相应的配置。如果端口伙伴还支持 DisplayPort 交替模式，则 USB PD 控制器将与连接的设备自动协商并进入 DisplayPort 交替模式。根据此协商的结果，USB PD 控制器将通过 I²C 或 GPIO 配置 DisplayPort 交替模式多路复用器。在 USB PD 协商期间，始终会首先协商电源，然后是 DisplayPort 等交替模式。

具有 USB PD 和电池充电器的 20V

过去，电池供电的终端设备使用桶形插孔、同轴电缆或专有电缆为产品充电。转向使用具有 USB PD 的 USB-C 后，可以同时支持供电和受电，从而能够将电池供电设备变成移动电源。换言之，最终用户既可以通过 USB-C 为连接的设备充电，也可以通过同一 USB-C 连接器为设备充电。为了满足这些要求，您可能需要实现具有双向电池充电器的 DRP 架构。虽然这种实现可能听起来复杂，但通常它是一个双芯片自包含解决方案。

图 52 是一个 20V USB DRP 设计的方框图，该设计采用了双向电池充电器 IC 并具有 USB PD。在这种情况下，当最终用户连接充电设备时，电池充电器会为电池充电。当最终用户连接需要充电的设备时，电池充电器还将在 V_{BUS} 上提供正确的电压。在这种情况下，USB PD 控制器还将通过 I²C 与充电器 IC 进行通信。当用作供电方时，USB PD 控制器会与电池充电器进行通信，指示是否已建立连接、要提供的电压以及电流限制的设置。电池充电器需要提供正确的电压来满足 USB PD 规范的容差要求，并确保电压转换（例如从 5V 到 20V）满足 USB PD 规范的时序要求。通常，如果电池充电器是为 USB PD 应用而设计的，则其设计符合这些规范，或者会提供可配置的设置来调整电压转换，从而调整输出以符合 USB PD 标准。

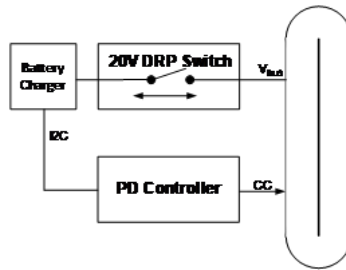


图 52. 5V 供电方 20V 受电方 USB PD 方框图

当用作受电方时，USB PD 控制器会告知电池充电器可用的功率，并使电池充电器开始为电池充电。图 52 包括一个额外的 20V DRP 电源路径，因为大多数电池充电器 IC 在输入引脚上需要超过 10 μ F 的电容器才能实现稳定性。如果您计划使用能够在电容小于 10 μ F 条件下运行的充电器 IC，则可以从系统中移除 20V DRP 电源路径。

终端设备特定方框图

- 摘要 ·
- 笔记本电脑和工业 PC ·
- 扩展坞 ·
- Bluetooth® 扬声器 ·
- Wi-Fi® 路由器和智能扬声器 ·
- 电动工具 ·



摘要

作者: Adam McGaffin

USB Type-C® (USB-C®) 正在迅速成为通用连接器, 使众多产品能够从其技术中受益。在本章中, 我将介绍一些目前支持 USB-C 技术的最常见终端设备类型, 并简要说明围绕 USB-C 连接器的子系统主要功能模块。

笔记本电脑和工业 PC

笔记本电脑是率先实现 USB-C 的产品, 目前出货的大部分笔记本电脑均至少配备一个 USB-C 端口。笔记本电脑可以通过 USB-C 和 USB PD 实现充电、为外设供电以及传输视频, 这大大提升了使用体验。图 53 是笔记本电脑或工业 PC 平台的典型方框图。

标准笔记本电脑和工业 PC 的唯一区别是工作温度范围要求。但两者的核心组件是相同的, 因此它们可以共用一个通用方框图。

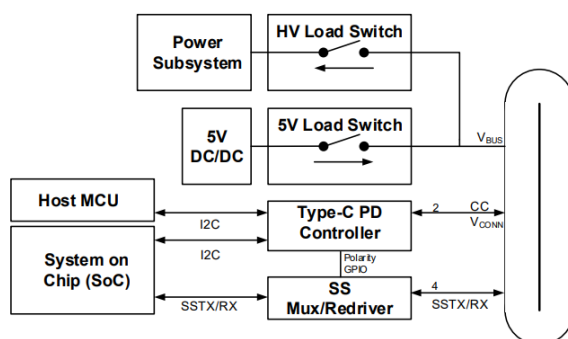


图 53. 笔记本电脑和工业 PC 方框图

为了协商为系统供电所需的高功率合约以及通过连接器传输视频, 需要 USB PD 控制器。从电源角度来看, 大多数平台都实现了两条不同的电源路径。一条电源路径专用于接收高压合约, 以便为笔记本电脑充电。另一条电源路径专用于 5V 电压, 以便为鼠标、键盘和手机等连接的外设充电。USB PD 控制器将直接集成这些电源路径, 或者能够控制外部电源路径, 例如专用电子保险丝和负载开关。

通过 USB-C 连接器传输视频或数据时, 需要实现多路复用器或转接驱动器, 以便正确地对 SuperSpeed 通道进行路由。控制多路复用器的任务通常也由 USB PD 控制器处理, 通过通用输入/输出或 I²C 根据所连接电缆的方向切换多路复用器的极性。

最后, 这些应用通常会实现某种类型的中央微处理器, 以便处理 USB-C 端口上发生的系统级事件。大多数 USB PD 控制器都实现了 I²C 接口, 允许与中央微控制器进行通信。端口伙伴信息、电源合约和当前视频输出速度都是可以从 USB PD 控制器获得的信息示例。

扩展坞

与笔记本电脑配合使用的最常见配件是扩展坞, 它可以让笔记本电脑通过一个端口充电和传输数据。图 54 是扩展坞的方框图。

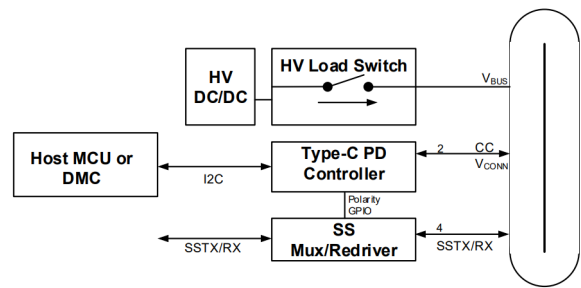


图 54. 扩展坞方框图

与笔记本电脑一样，扩展坞需要 USB PD 控制器来实现高功率合约和协商视频交替模式。然而，与笔记本电脑不同，您只需要一条电源路径，即连接到高压可变直流/直流转换器的高压电源路径，以便扩展坞可以为连接的笔记本电脑和其他外设充电。扩展坞永远不会从此端口吸取电力，因此只需单个电源路径即可。

Bluetooth® 扬声器

蓝牙扬声器等便携式设备能够从 USB-C 技术获益，使产品既能为自身充电，又能为连接的外设供电，从而让用户能够将其便携式产品用作移动电源。图 55 和图 56 展示了两种典型的蓝牙扬声器方框图，它们通常也适用于其他便携式电池供电设备。

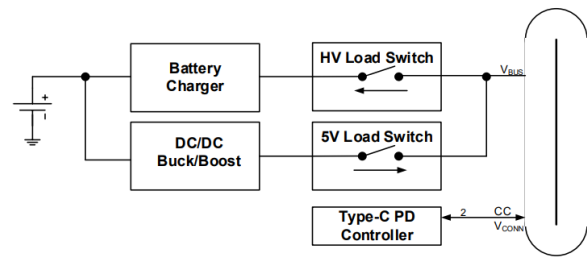


图 55. 蓝牙扬声器方框图 1

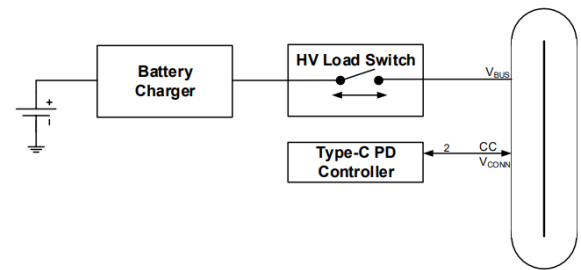


图 56. 蓝牙扬声器方框图 2

在设计蓝牙扬声器或任何便携式电池供电设备时，有两种潜在的电源架构：

- 一种是为系统提供接收功率和提供功率的两个独立电源路径。
- 另一种是单一电源路径，其中电池充电器在 On-The-Go 模式下同时充当电源。

第一种架构适用的情况包括蓝牙扬声器内多个器件共用一个 5V 电压轨，并且设计人员希望将受电电源路径与电源架构的其余部分隔离开来。第二种架构则更适合那些需要和拉取超过 5V 电压的系统。要使系统通过 USB-C 端口提供 9V 电压，必

须实现一个可变直流/直流转换器，该转换器能够从 5V 启动，然后转换到 9V。您可以使用许多电池充电器中集成的 On-The-Go 功能，而不必为该功能实现单独的可变直流/直流转换器。

Wi-Fi® 路由器和智能扬声器

Wi-Fi 路由器和智能扬声器等传统使用桶形插孔供电的设备正在逐步转向使用 USB-C。图 57 展示了从专有桶形插孔连接到 USB-C 端口的转换。

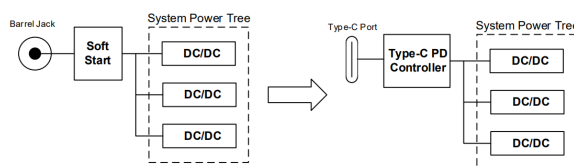


图 57. 从桶形插孔转向采用 USB-C

如图 57 所示，核心系统的电源架构可以保持不变，因为您可以保持在 USB-C 端口上协商出与桶形插孔上通常供电相同的电压。另一个优势是，大多数桶形插孔应用都实现了软启动电路，以限制初始连接期间的浪涌电流。USB-C 端口可以通过 USB-C 系统中所用负载开关的内置软启动功能来实现此功能。

图 58 更详细地展示了 USB-C 模块，以及在 Wi-Fi 路由器或智能扬声器应用中实现 USB-C 所需的条件。

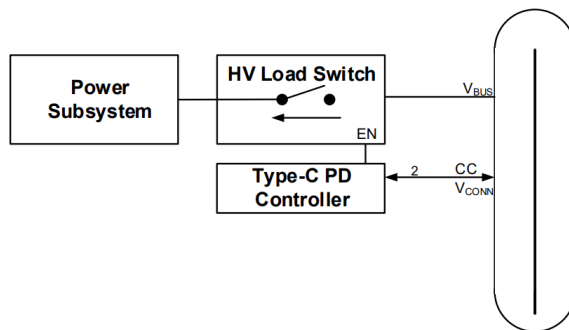


图 58. Wi-Fi 路由器和智能扬声器方框图

Wi-Fi 路由器或智能扬声器等仅受电方 USB-C 系统可以通过一个或两个模块来实现。USB PD 控制器负责与连接的充电器协商所需的电压，另外还需要负载开关或电源路径。该电源路径连接到系统电源架构和子系统，而后者负责为设备内的所有电压轨供电。

电动工具

电动工具和类似的便携式电源组（用于在移动中为笔记本电脑、手机和扬声器供电和充电）是另一种采用 USB-C 的终端设备。图 59 和图 60 展示了这类系统的典型方框图。

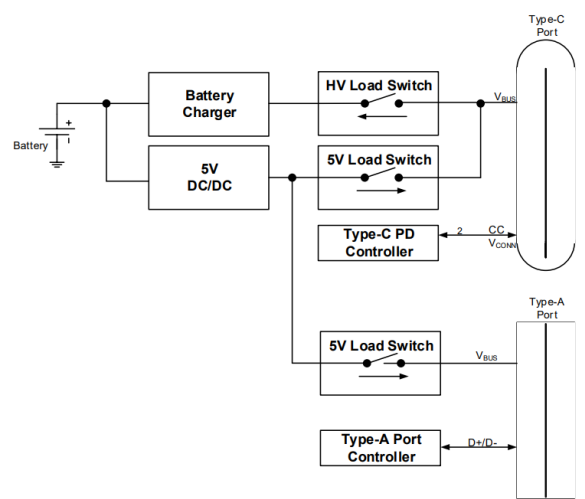


图 59. 电动工具方框图 1

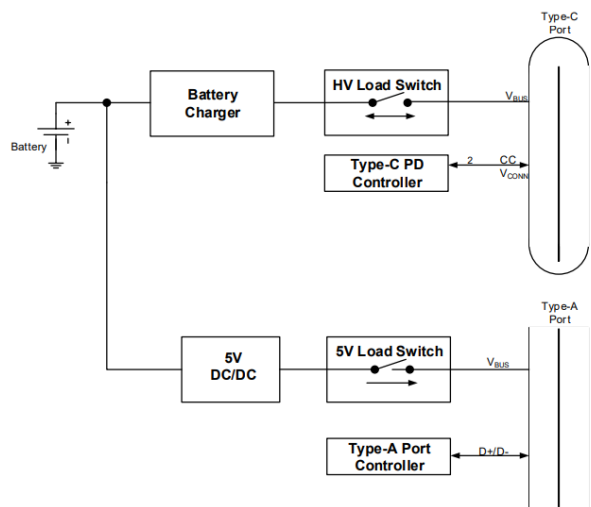


图 60. 电动工具方框图 2

虽然许多设计人员正在将所有 USB Type-A 端口升级为 USB-C 端口，但部分终端设备仍继续采用旧接口技术来为客户的旧产品供电。一个例子是电动工具。与蓝牙耳机类似，电动工具电池组能够通过单个 USB-C 端口提供和接收电源。USB Type-A 端口只能供电来为连接的设备充电。

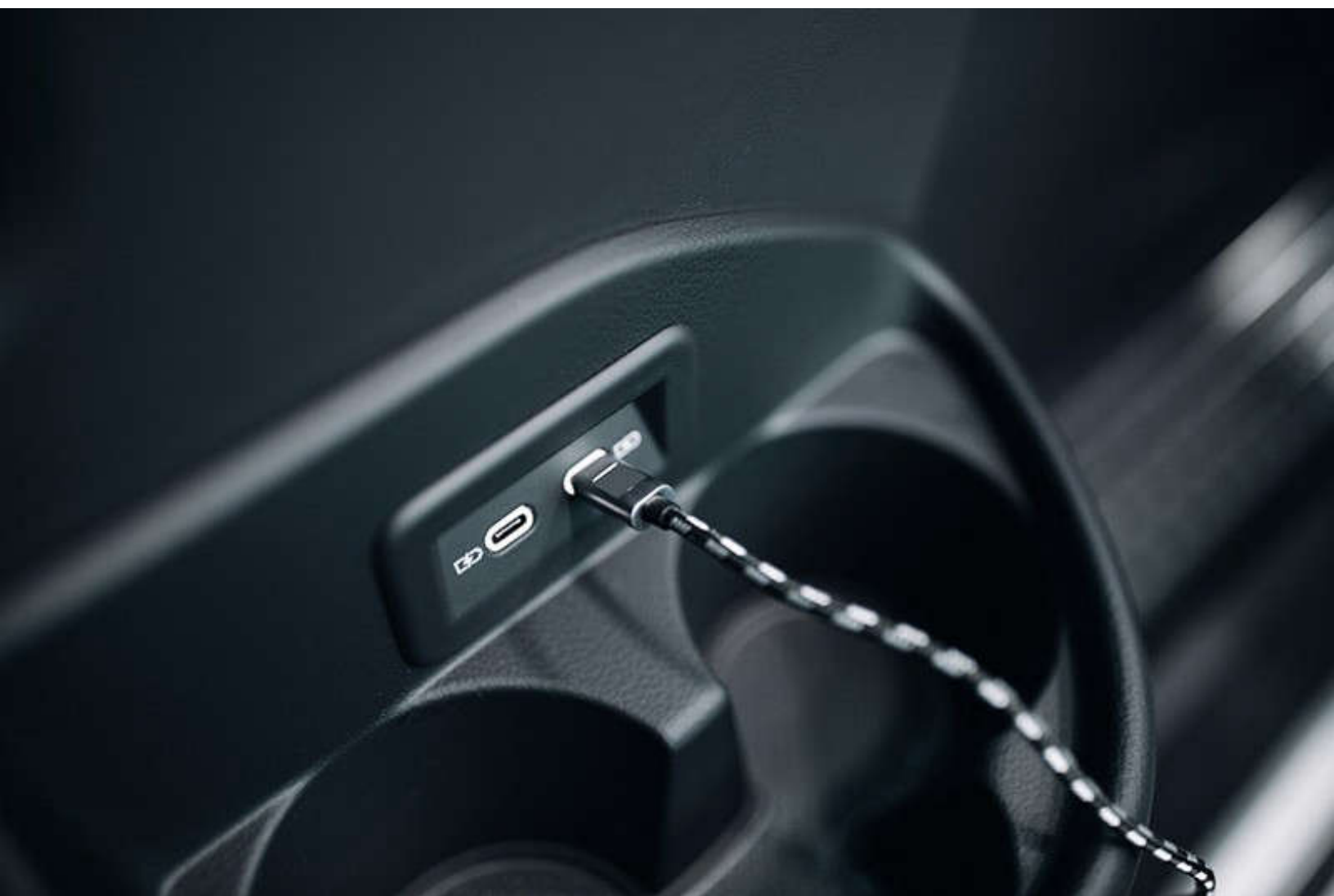
从电源角度来看，有两种不同的实现方式：

- USB-C 和 USB Type-A 端口共用同一个 5V 直流/直流电源，其中 USB-C 端口的输出限制为 5V。
- USB-C 端口实现一条电源路径，电池充电器以 On-The-Go 模式运行。USB Type-A 端口拥有专用的 5V 直流/直流电源。

电动工具与蓝牙耳机的另一个相似之处在于，选择一种拓扑而不是另一种拓扑的主要原因在于 USB-C 端口上的输出电压。如果 USB-C 端口只需最大 5V 的电压，则采用共享的直流/直流拓扑可能最有利，此时连接到 USB-C 端口的电池充电器仅用作受电方。如果 USB-C 端口需要提供超过 5V 的电压，则建议将电池充电器同时用作供电方和受电方，并借助充电器中内置的 On-The-Go 功能，这可能是更合理的设计方案。

TI PD 控制器的优势

- 摘要 •
- 针对常见设计挑战的 TI 解决方案 •
- 使用 TI PD 控制器的其他优势 •



摘要

作者：Joe Li、Adam McGaffin

自 2013 年发布以来，USB-C PD 就是一项重要技术，它使应用能够通过单根电缆支持高速数据传输和更高的功率传输。不过，采用 PD 会带来一些设计挑战，这些挑战减缓了 USB-C PD 技术的发展。TI PD 控制器直接解决了这些问题，并为最终用户提供了完整的解决方案。

针对常见设计挑战的 TI 解决方案

TI 提供高度集成的解决方案

挑战：大多数 PD 控制器并未将所需的所有必要电源路径集成到其解决方案中，这导致过流保护 (OCP)、过压保护 (OVP) 和反向电流保护 (RCP) 性能较差。最终用户需要设计单独的电源路径，或者购买 5V 或高压 (HV) 负载开关。这导致最终用户面临着总体解决方案尺寸较大和总物料清单 (BOM) 成本较高的问题。

解决方案：TI 提供了完整的独立 USB-C PD 解决方案，其中集成了系统设计人员设计 USB-C PD 系统时所需的所有必要电源路径和其他功能。图 61 展示了 TI PD 控制器的简化方框图。请注意，集成式场效应晶体管 (FET) 用作内部电源路径，为最终用户节省了设计额外 5V 或高压电源路径的麻烦。同时，集成的无电电池低压降 (LDO) 稳压器生成 3.3V 电源轨，帮助在电池电量耗尽的情况下为系统的一部分供电。内部电源路径保护功能提供了强大的 RCP、OVP 和 OCP。此外，TI PD 控制器还集成了可承受 26V 的 CC 引脚，用于在连接不兼容的设备时提供强大的保护功能。凭借高度集成的设计，TI PD 控制器消除了固件开发或外部微控制器的需求。

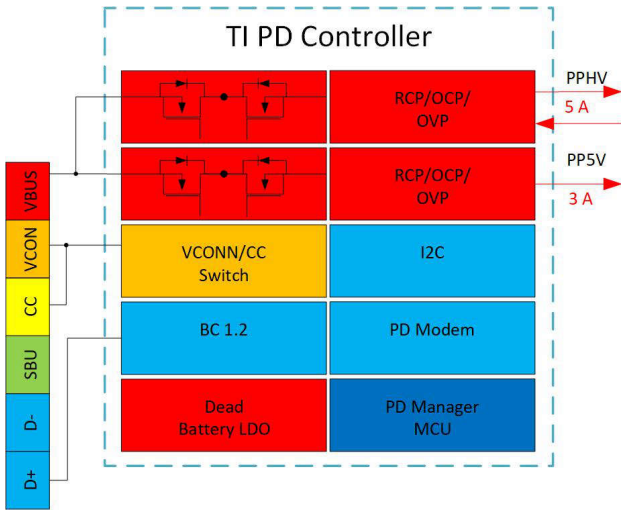


图 61. TI PD 控制器设计

另一方面，典型的 PD 控制器产品通常集成度较低，系统设计人员需要投入更多的设计工作和额外的材料，才能构建完整的系统。图 62 展示了一个典型的 PD 控制器设计。由于这类解决方案集成的功能少得多，系统设计人员需要自己完成大量的设计工作，才能实现完整的 USB-C PD 解决方案。由于没有内部电源路径、无电源路径保护、无电池无电 LDO，并且通常没有 BC 1.2 协议模块，设计工作完全由最终用户完成。由于需要多个额外的芯片和 FET，使用典型的 PD 控制器可能是一种效率低下、复杂且昂贵的解决方案。

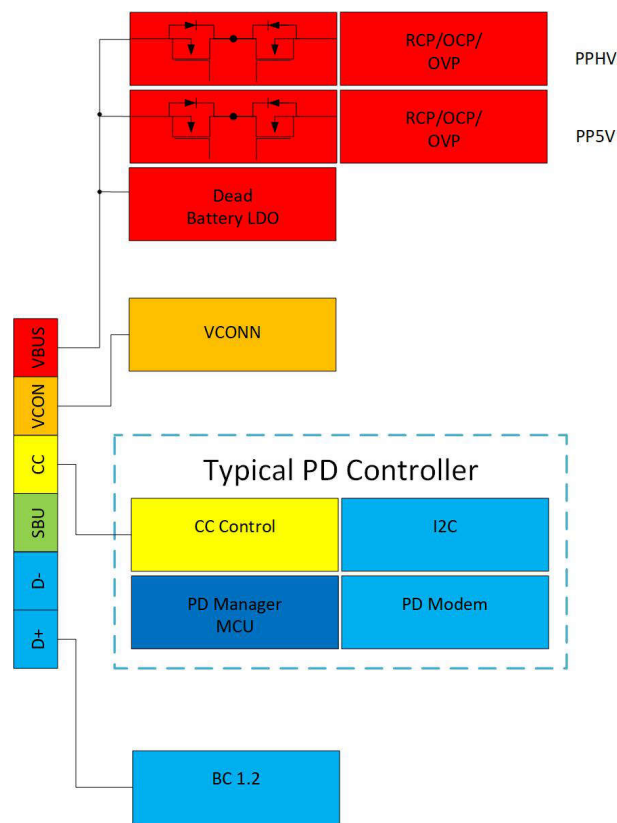


图 62. 典型的 PD 控制器设计

总体而言，通过高度集成的设计，TI 能够提供业界超小的总体解决方案尺寸，同时保持超低的总 BOM 成本。通过内置的电源路径管理和其他功能，TI 提供了一种完整的单芯片解决方案，节省了最终用户在搜索其他器件以完成其 USB-C PD 系统时所面临的麻烦和成本。

TI 提供简单的配置工具

挑战：在首次使用前对 PD 控制器进行配置的能力非常重要。例如，最终用户应该能够轻松地将 PD 控制器的电源角色从仅供电方更改为双角色电源或仅受电方。然而，在使用典型的 PD 控制器进行设计时，通常并非如此，因为配置过程可能会令人困惑且耗时。大多数配置软件都需要手动编码、复杂的固件脚本编写，甚至需要用户对 I2C 寄存器有深入的了解，才能启用充电器支持，因此学习曲线较陡，配置过程的用户体验较差。

解决方案：TI PD 控制器的配置过程很简单，且所需编写的代码量较少。对于 TPS6598X 系列，最终用户可以下载 TI 应用定制图形用户界面 (GUI) 工具，以便轻松地更改配置设置或通过 I2C 与 PD 控制器进行交互。图 63 是使用 TPS6598X 系列 GUI 工具配置通用输入/输出 (GPIO) 设置的屏幕截图。

GUI Build Version : 6.1.3
Configuration File Version : 6.1.3
Configuration File Supported Device : TPS65987DDH (Standard)
Configuration File Name: TPS65987DDH_Standard_v6_1_3.tpl

USB to I2C/SPI Adapter : TIVA

I/O Config (0x5c)

GPIO #0

Field	Value
Multiplexing for GPIO 0 pin	Pin Multiplexed to GPIO
Initial Value	0x0
Open Drain Output Enable	<input type="checkbox"/>
Internal Pull Down Enable	<input type="checkbox"/>
Internal Pull Up Enable	<input type="checkbox"/>
GPIO Analog Input Control	Pin to GPIO
Mapped Event	Port 0 DP Mode Select Event
GPIO Polarity	Direct-mapped Event

图 63. TPS6598X 系列 GUI 工具

针对当前和未来的 PD 控制器，TI 提供了一个易于使用且基于网络的问答式 GUI 工具，供最终用户配置其 PD 控制器。最终用户只需回答一些问题，即可生成固件/配置映像。请参阅图 64，以了解这个简单的配置过程。

1) Select your TPS25751 configuration: ⓘ

Are you a power source (provider) and a power sink (consumer)?

☒

☐

☐

☐

Are you a power sink (consumer) only?

☐

☐

☐

☐

Are you a 5V @ 3A power source (provider) only?

☐

☐

图 64. 基于网络的 GUI 屏幕截图

2) What is the maximum power that can be sourced? ⓘ

☐ 15W (5V)

☐ 27W (9V)

☐ 45W (15V)

☐ 60W (20V)

☒ 100W (20V)

3) What is the required sink power or power consumed? ⓘ

☐ 15W (5V)

☐ 27W (9V)

☐ 45W (15V)

☐ 60W (20V)

☒ 100W (20V)

4) What is the preferred power role? ⓘ

☐ Power source (provider)

☒ Power sink (consumer)

5) What is the supported USB Highest Speed? ⓘ

☐ No USB data is being used

☐ USB 2

☐ USB 3.2 Gen 1

☐ USB 3.2 Gen 2

6) Do you have a preferred data role? ⓘ

☐ No

☐ Host (PC, hub, etc.) to which devices are connected - Downstream Facing Port (DFP)

☐ Device (USB flash drive, USB monitor, USB mouse, etc.) that connects to another USB Host - Upstream Facing Port (UFP)

☒ Host & Device - Dual Role Port (DRP)

图 65. 基于网络的 GUI 屏幕截图

TI 产品经过严格验证并已获得 USB-IF 认证

挑战：一些 PD 控制器并不完全符合 USB Implementers Forum (USB-IF) 规范。缺少 USB-IF 认证可能导致在尝试与其他 USB-C 终端产品进行互操作时出现问题，甚至导致传统 USB-C 功能出现故障；这可能包括 DisplayPort 交替模式故障。

解决方案：为确保 TI 产品的可靠性，所有 TI PD 控制器在每次发布之前都会经过广泛的验证，包括固件验证和系统验证。每次发布或更新固件时，TI 都会相应地增加新的测试来验证任何新的功能，并执行全面的回归测试，从而确保所有现有功能不受影响。固件测试完成后，产品会进行系统验证，包括合规性、互操作、故障、功率测量和功能测试，以确保产品符合合规性和功能标准，并能与其配套设备正常工作。此外，TI 在每次发布后都会根据用户反馈持续升级和验证其 PD 控制器。

TI 还与负责制定 USB 规范的委员会 USB-IF 保持着长期的合作关系。TI 与 USB-IF 的合作促使 TI 持续致力于确保产品符合规范要求。TI 有代表在当前的 USB-IF 董事会任职，这使得 TI 成为 USB 社区的重要成员。所有 TI PD 产品都按照 USB-IF 规范进行测试和认证。这确保了 TI PD 控制器正确实现 USB 电力输送规范，从而能够与任何其他 USB-IF 认证系统（而不仅仅是使用 TI 解决方案的系统）实现无缝兼容。

使用 TI PD 控制器的其他优势

TI 提供完整的参考设计

TI 致力于让最终用户尽可能顺畅地采用 USB-C PD 技术，因此 TI 为大多数 TI PD 控制器提供了涵盖各种用例的完整参考设计。请访问以下网站获取完整的参考设计列表，并使用参数搜索工具来快速找到所需产品：<https://www.ti.com.cn/cn/reference-designs/index.html#search?famid=361,658,3391>。

TI 提供出色的客户支持

为了进一步提升最终用户的体验，TI 提供了出色的客户支持。最终用户只需访问 www.ti.com/usb-c，即可找到开发和调试其 USB-C PD 系统所需的所有相关培训视频、参考设计和评估模块 (EVMS)。除了现有的资源外，TI 的在线 E2E 论坛让最终用户能够直接与 TI 专家沟通，以获得额外的技术支持。

结语

切换到 USB-C 电源系统看似复杂且昂贵，但通过选择 TI 的 PD 控制器，最终用户能够尽可能地减少设计工作量、缩短产品上市时间并降低系统成本。TI 致力于将其 USB-PD 产品打造成行业标杆。通过提供高集成度的 PD 解决方案、易于使用的 GUI 配置工具以及出色的客户支持，TI 识别并解决了关于 USB-C PD 产品的主要挑战。

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。建议客户在订购之前获取有关 TI 产品和服务的最新和完整信息。TI 对应用帮助、客户的应用或产品设计、软件性能或侵犯专利不负任何责任。有关任何其它公司产品或服务的发布信息均不构成 TI 因此对其的认可、保证或授权。

所有商标均为其各自所有者的财产。

© 2024 Texas Instruments Incorporated



ZHCY216

重要声明和免责声明

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](#) 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
Copyright © 2024，德州仪器 (TI) 公司