

USB Type C 规范详解

目前 USB Type C 接口应用非常广泛，可以传输 DP，USB，PCIE，音频等信号，已经不是纯粹的用来传输 USB 信号了，即 USB Type C 摆脱了和 USB 的从属关系，自己当家作主了。下面来介绍下 USB Type C 里面比较重要的点。



协议来源

USB 官方网站上可以下载到最新的协议《USB Type-C Specification Release 1.4.pdf》，最新的为 2019 年 4 月 3 日。文末也会共享出来。

该协议主要内容是：定义 USB Type C 的插头，插座，和线缆

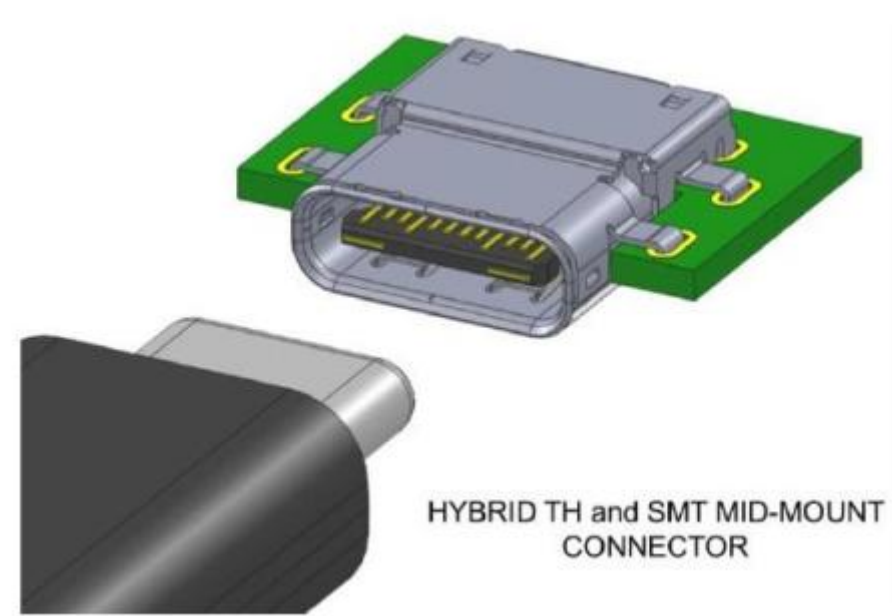
USB Type-C 的 Vbus 的电流的检测与使用

使用 USB Type-C 的源(主机或下游集线器端口)可以在 vbus 上实现更高的源电流，以便能够更快地充电需要比 USB3.2 规范中指定的更多电流的移动设备或供电设备。所有 USB 主机和集线器端口都通过 CC 引脚来设置当前可用的电流水平。

USB PD 各个模式供电能力如下表：

Mode of Operation	Voltage	Current	Notes
USB 2.0	5 V	See USB 2.0	
USB 3.2	5 V	See USB 3.2	
USB BC 1.2	5 V	1.5 A ¹	Legacy charging
USB Type-C Current @ 1.5 A	5 V	1.5 A	Supports higher power devices
USB Type-C Current @ 3.0 A	5 V	3 A	Supports higher power devices
USB PD	Configurable up to 20 V	Configurable up to 5 A	Directional control and power level management

USB Type-C 接口



Type-c 接口有公头和母座，如下图：

Figure 2-1 USB Type-C Receptacle Interface (Front View) 母座

A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12
GND	TX1+	TX1-	VBUS	CC1	D+	D-	SBU1	VBUS	RX2-	RX2+	GND
GND	RX1+	RX1-	VBUS	SBU2	D-	D+	CC2	VBUS	TX2-	TX2+	GND
B12	B11	B10	B9	B8	B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1

Figure 2-2 USB Full-Featured Type-C Plug Interface (Front View)

A12	A11	A10	A9	A8	A7	A6	A5	A4	A3	A2	A1
GND	RX2+	RX2-	VBUS	SBU1	D-	D+	CC	VBUS	TX1-	TX1+	GND
B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12
GND	TX2+	TX2-	VBUS	VCONN			SBU2	VBUS	RX1-	RX1+	GND

插头

Power 有关的信号

VBUS，USB 线缆的 bus power（和我们通常意义上 VBUS 保持一致），电源和 GND 都有 4 根线，这就是为什么能支持到 100W 的原因。

VCONN（只有在插头上才会有该信号），当线缆里有芯片的时候，用来给线缆里的芯片供电（3.3V 或 5V）。

USB 2.0 数据线，D+/D-。它们在插头端只有一对，和旧的 USB 2.0 规范一致。但为了支持正反随意插。在插座端定义了两组，这样插座端可以根据实际情况进行合适的 mapping。

USB3.1/USB3.2 数据线，TX+/-和 RX+/-，用于高速的数据传输。插头和插座端都有两组，用于支持正反随意插。

Configuration 的信号，对插头来说，只有一个 CC，另外一个伪 VCONN，对插座来说，有两个 CC1 和 CC2。

SUB 信号，用于 USB 拓展功能，可用于模拟音频。

USB Type-C 电缆

如下表，USB2.0 规范的电缆长度小于 4 米，USB3.2 Gen1 的长度小于 2 米，USB3.2Gen2 的电缆长度小于 1 米。

Cable Ref	Plug 1	Plug 2	USB Version	Cable Length	Current Rating	USB Power Delivery (BMC)	USB Type-C Electronically Marked
CC2-3	C	C	USB 2.0	≤ 4 m	3 A	Supported	Optional
CC2-5					5 A		Required
CC3G1-3	C	C	USB 3.2 Gen1	≤ 2 m	3 A	Supported	Required
CC3G1-5					5 A		
CC3G2-3	C	C	USB 3.2 Gen2	≤ 1 m	3 A	Supported	Required
CC3G2-5					5 A		

全功能 USB Type-C 电缆信号说明

Figure 3-21 Illustration of a USB Full-Featured Type-C Cable Cross Section, a Coaxial Wire Example with VCONN

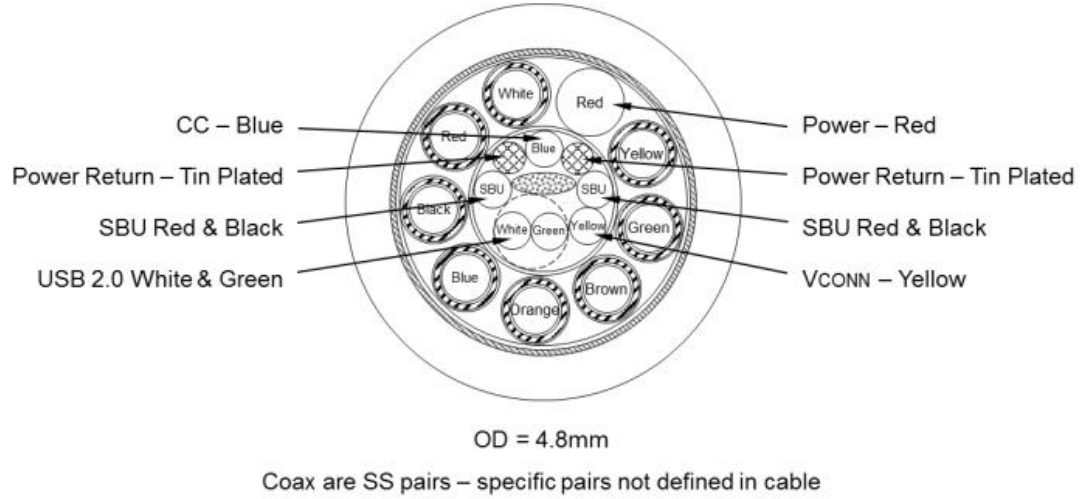


Table 3-6 USB Type-C Standard Cable Wire Assignments

Wire Number	Signal Name	Description
1	GND_PWRrt1	Ground for power return
2	PWR_VBUS1	VBUS power
3	CC	Configuration Channel
4	UTP_Dp	Unshielded twist pair, positive
5	UTP_Dn	Unshielded twist pair, negative
6	SDPp1	Shielded differential pair #1, positive
7	SDPn1	Shielded differential pair #1, negative
8	SDPp2	Shielded differential pair #2, positive
9	SDPn2	Shielded differential pair #2, negative
10	SDPp3	Shielded differential pair #3, positive
11	SDPn3	Shielded differential pair #3, negative
12	SDPp4	Shielded differential pair #4, positive
13	SDPn4	Shielded differential pair #4, negative
14	SBU_A	Sideband Use
15	SBU_B	Sideband Use
16	GND_PWRrt2	Ground for power return (optional)
17	PWR_VBUS2	VBUS power (optional)
18	PWR_VCONN	VCONN power (optional, see Section 4.9)
Braid	Shield	Cable external braid

上图是标准的 USB Type-C 的电缆，高速信号差分对 SDP 都采用同轴线，信号地回流是通过屏蔽 GND。

USB2.0/USB3.1/USB3.2 线缆说明

如下图，如果 type-c 线缆仅仅用作 USB 功能，那么其实有很多信号线是不需要的，只需要以下信号即可（USB3.2 Gen2x2 除外）。USB2.0 需要更少的线，其 5-10 信号是不需要的。

Table 3-7 USB Type-C Cable Wire Assignments for Legacy Cables/Adapters

Wire Number	Signal Name	Description
1	GND_PWRrt1	Ground for power return
2	PWR_VBUS1	VBUS power
3	UTP_Dp	Unshielded twist pair, positive
4	UTP_Dn	Unshielded twist pair, negative
5	SDPp1	Shielded differential pair #1, positive
6	SDPn1	Shielded differential pair #1, negative
7	SDP1_Drain	Drain wire for SDPp1 and SDPn1
8	SDPp2	Shielded differential pair #2, positive
9	SDPn2	Shielded differential pair #2, negative
10	SDP2_Drain	Drain wire for SDPp2 and SDPn2
Braid	Shield	Cable external braid

Note:

- a. This table is based on the assumption that shielded twisted pair is used for all SDP's and there are drain wires. If coaxial wire construction is used, then no drain wires are needed and the signal ground return is through the shields of the coaxial wires.

线缆的粗细线号

规范不指定金属丝规。更粗的线造成较少的损失，但代价是电缆直径和灵活性。多根电线可用于一条单线，如 Vbus 或地。建议使用最小的线号，以满足电缆组装、电气和机械的要求。为了最大限度地提高电缆的灵活性，电缆的外径应该尽可能的减小。一个典型的 USB 全功能型 Type-C 型电缆外径可从 4mm 至 6mm，而一个典型的 USB2.0 型 Type-C 电缆外径可从 2mm 至 4mm。一个典型的 USB Type-C 的 USB3.1 电缆外径可以从 3mm 到 5mm。

线号参考如下表：

Table 3-8 Reference Wire Gauges for standard USB Type-C Cable Assemblies

Wire Number	Signal Name	Wire Gauge (AWG)
1	GND_PWRrt1	20-28
2	PWR_VBUS1	20-28
3	CC	32-34
4	UTP_Dp	28-34
5	UTP_Dn	28-34
6	SDPp1	26-34
7	SDPn1	26-34
8	SDPp2	26-34
9	SDPn2	26-34
10	SDPp3	26-34
11	SDPn3	26-34
12	SDPp4	26-34
13	SDPn4	26-34
14	SBU_A	32-34
15	SBU_B	32-34
16	GND_PWRrt2	20-28
17	PWR_VBUS2	20-28
18	PWR_VCONN	32-34

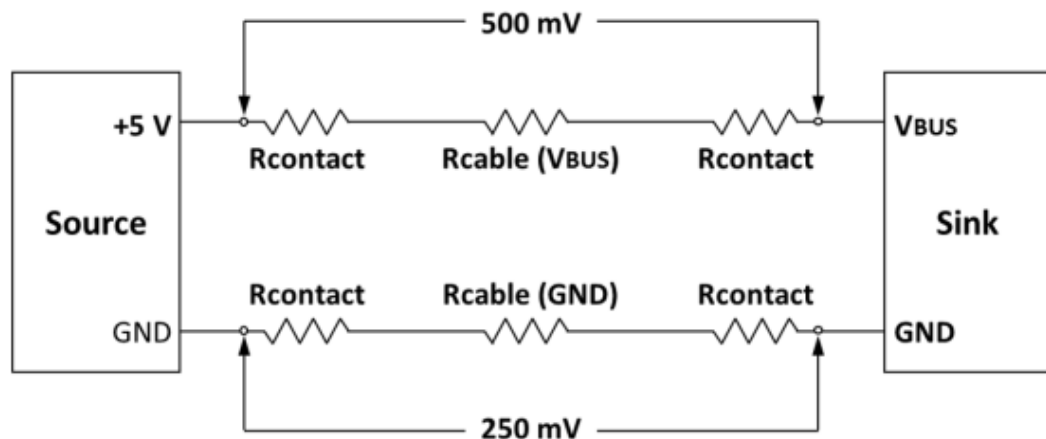
阻抗控制

SDP 屏蔽差分线的阻抗控制在 $90\Omega \pm 5\Omega$ ，单端同轴线控制在 $45\Omega \pm 3\Omega$ 。阻抗应该用 200 ps(10%-90%)的上升时间来评估。

电源 VBUS 和 GND

如下图，电源的压降要小于 500mV，Gnd 上面的压降要小于 250mV

Figure 4-1 Cable IR Drop



配置通道 (CC) 详解

配置通道 CC 的用途如下：

检测 USB 设备是否接入；

检测 USB 插入方向，并以此建立 USB 数据通道的路由；

插入后帮助建立 USB 设备角色（谁为 HOST，谁为 Device）；

发现并配置 VBUS，配置 USB PD 供电模式；

配置 Vconn；

发现和配置可选的备用和辅助模式；

名词解释

在 USB2.0 端口，USB 根据数据传输的方向定义了 HOST/Device/OTG 三种角色，其中 OTG 即可作为 HOST，也可作为 Device，在 Type-C 中，也有类似的定义。

DFP(Downstream Facing Port)：下行端口，可以理解为 Host 或者是 HUB，DFP 提供 VBUS、VCONN，可以接收数据。在协议规范中 DFP 特指数据的下行传输，笼统意义上指的是数据下行和对外提供电源的设备。

UFP (Upstream Facing Port)：上行端口，可以理解为 Device，UFP 从 VBUS 中取电，并可提供数据。典型设备是 U 盘，移动硬盘。

DRP (Dual Role Port)：双角色端口，类似于以前的 OTG，DRP 既可以做 DFP(Host)，也可以做 UFP(Device)，也可以在 DFP 与 UFP 间动态切换。典型的 DRP 设备是笔记本电脑。设备刚连接时作为哪一种角色，由端口的 Power Role (参考后面的介绍) 决定；后续也可以通过 switch 过程更改 (如果支持 USB PD 协议的话)。

USB PORT 的供电 (或者受电) 情况，USB Type-C 将 port 划分为 Source、Sink。

Source：通过 VBUS 或者 VCONN 供电。

Sink：通过 VBUS 或者 VCONN 接受供电。

DRP(Dual-Role-Power)：既可以作为 Source，也可以作为 Sink。到底作为 Source 还是 Sink，由设备连接后的配置决定。

Source 和 Sink 的连接过程

Source 和 Sink 的通用 USB 情况下，配置接口的典型流程如下：

首先，检测端口之间的有效连接 (包括确定电缆方向、源/接收器和 DFP/UFP 关系)。

其次检测电缆的能力。

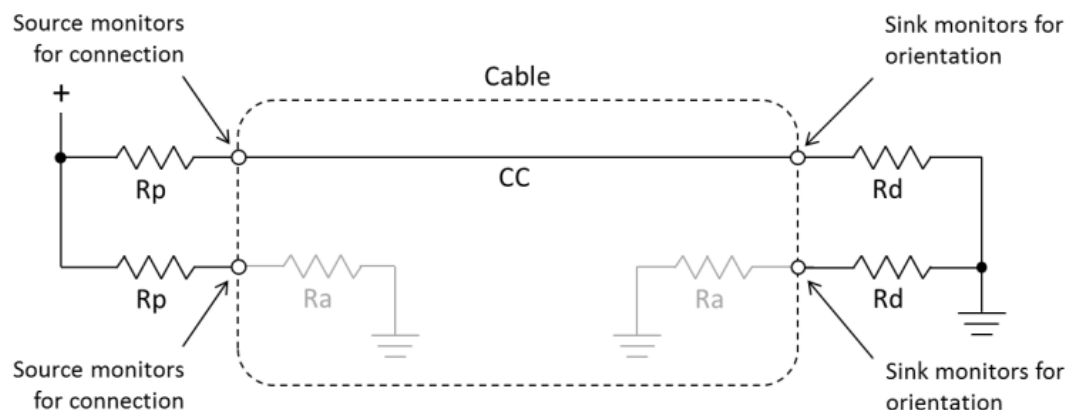
再次接通 USB 供电 (协商 USB 电力传输，选择供电模式，电池充电等)。

最后进行 USB 枚举。

Source to Sink 的连接检测

如下图，Source 端是上拉电阻 R_p ，Sink 端接下拉电阻 R_d

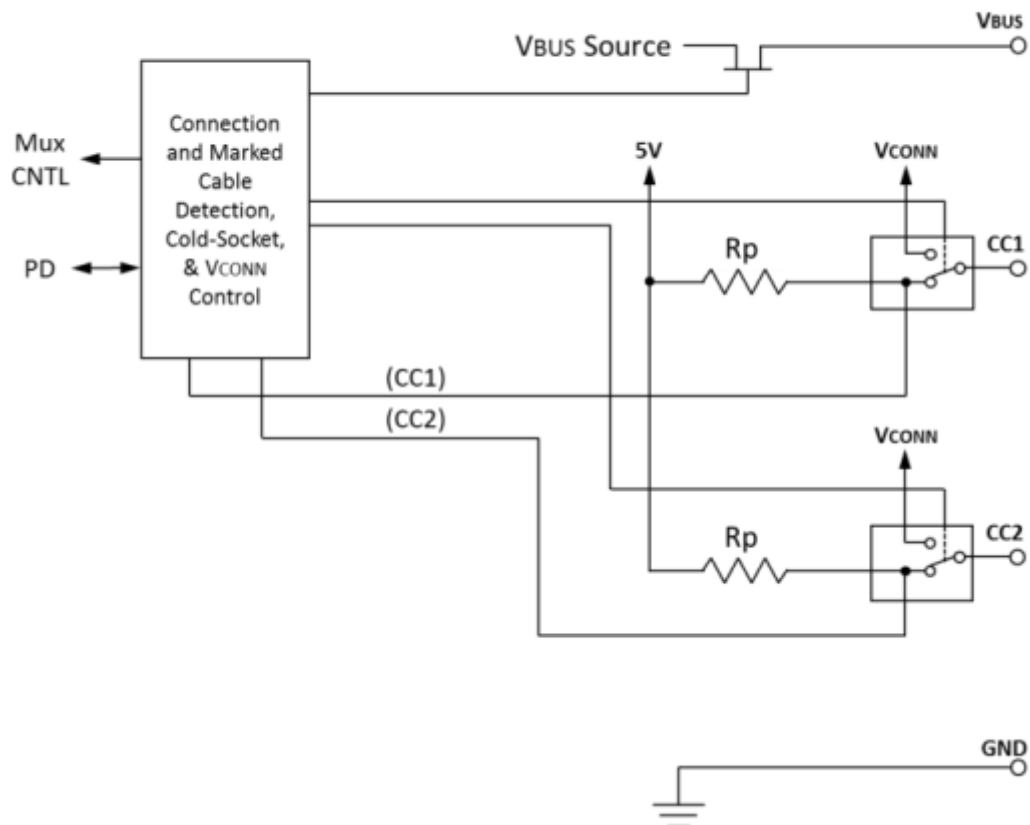
Figure 4-5 Pull-Up/Pull-Down CC Model



在未对接时，Source 检测到 CC 管脚都为高电平，Sink 端检测到 CC 管脚都为低电平。对接后，形成分压，电平为中间值。Rp 的阻值能表明 Source 能够提供的功率水平。

源端 CC1，CC2 模型

Figure 4-7 Source Functional Model for CC1 and CC2



如上图

Source 端使用一个 MOS 管去控制 Vbus，初始状态下，FET 为关闭状态，Vbus 不通。

Source 端 CC1/CC2 均上拉至高电平，同时检测是否有 Sink 插入，当不论哪一个管脚检测到有 Rd 下拉电阻时，说明 Sink 被检测到。Rp 的阻值表明 Host 能够提供的功率水平。

Source 端根据 Cable 中哪一个 CC 引脚为 Rd 下拉，去建立正确的 USB 高速数据路由，同时决定另外一个 CC 引脚提供 VCONN

当检查到 Sink 接入后，Source 使能 Vbus 和 Vconn。

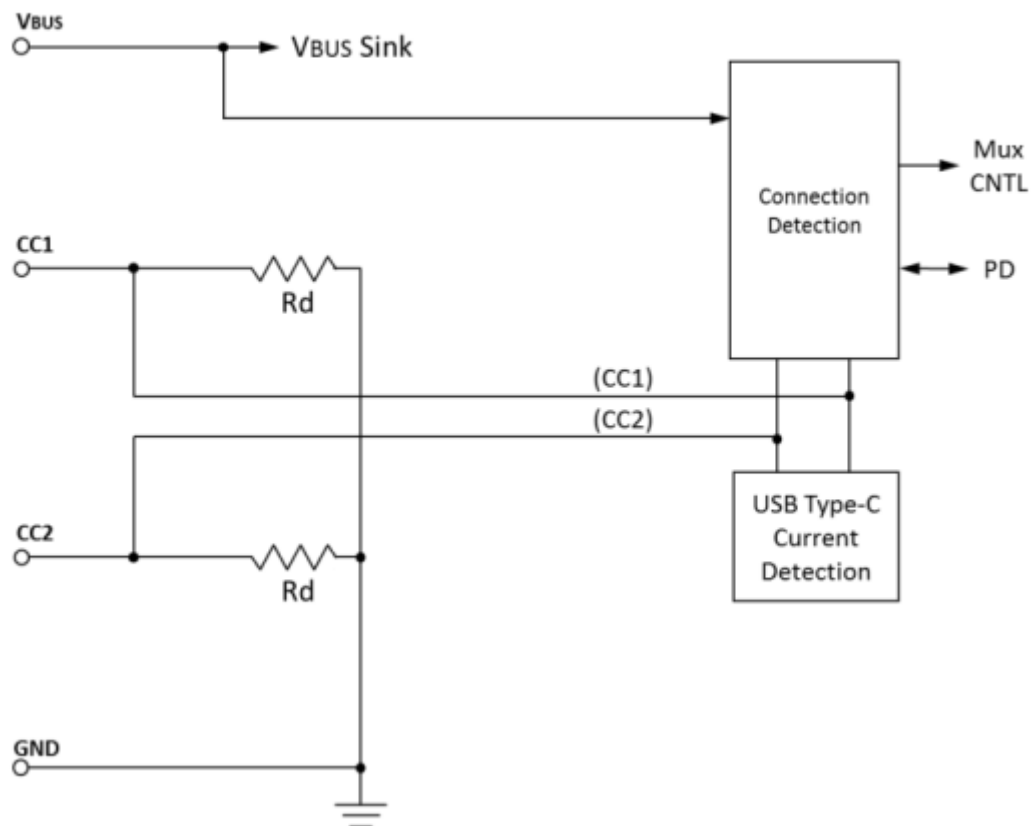
Source 可以动态调整 R_p 的值，告知 Sink 端的电流提供能力发生变化，告知 SINK 最大可以使用的电流

Source 会持续检测 R_d ，检测到拔出事件后会断开连接，Vbus 和 Vconn 都会断开。

如果 Source 支持高级功能（PD 或者 Alternate Mode），会通过 USB PD 协议进行沟通实现。

Sink 端 CC1，CC2 模型

Figure 4-9 Sink Functional Model for CC1 and CC2



如上图

SINK 的两个 CC 引脚均通过 R_d 下拉到 GND。

SINK 通过检测电源 VBUS 是否存在，来判断 Source 的连接与否。

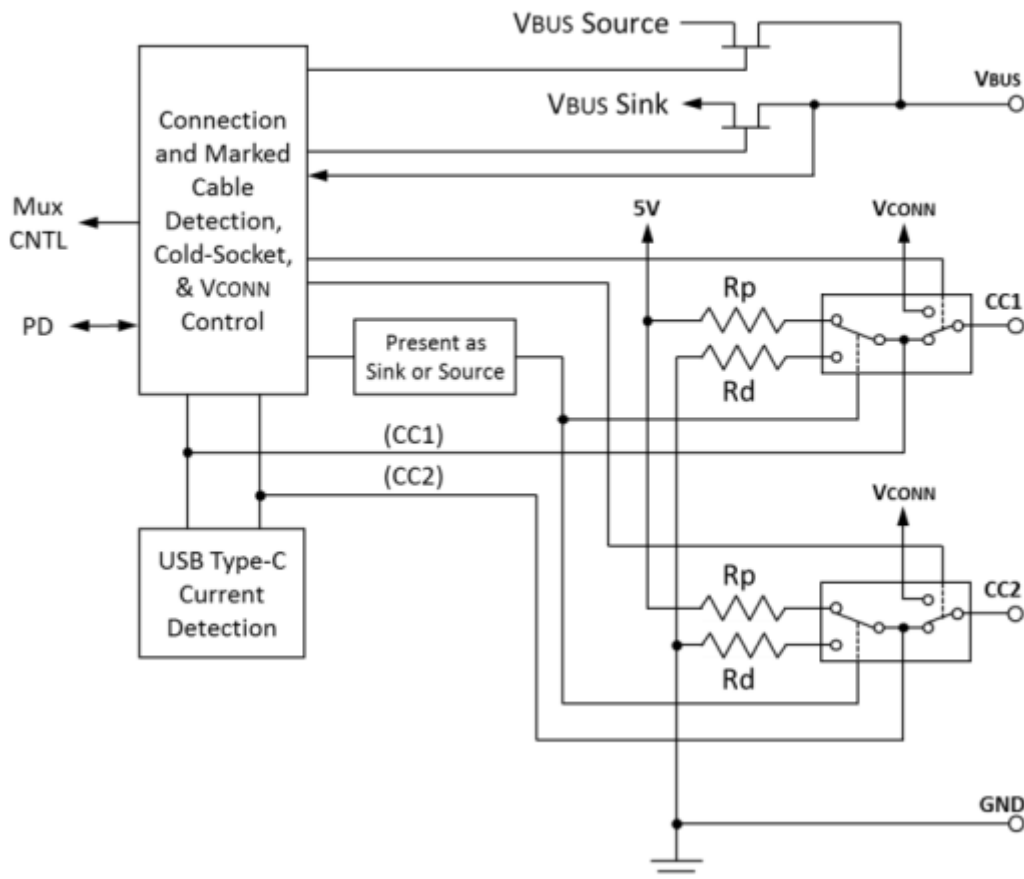
SINK 通过 CC 引脚上拉的特性，来检测目前的 USB 高速数据链路。

SINK 可选地去检测 R_p 的值，去判断 Source 可提供的电流。同时管理自身的功耗，保证不超过 Source 提供的最大范围。

同样的，如果支持高级功能，通过 CC 引脚进行 USB PD 协议进行沟通实现。

DRP 的 CC1, CC2 模型

Figure 4-11 DRP Functional Model for CC1 and CC2



DRP 模式（双向供电）如上图：

DRP 使用 MOS 管来启用/禁用 Vbus 的电源传递，并且在开始时禁用 Vbus。

DRP 使用开关来决定自身是 Source 端还是 Sink 端。

DRP 在 Source 和 Sink 之间的切换：在建立特定的稳定状态之前，DRP 在将自己在 Source 和 Sink 之间交替进行，根据协议最终会确认是 Source 还是 Sink。当 DRP 最终确定为 Source 端时，它遵循 Source 端操作协议来检测 Sink 端是否接入。如果检测到 Sink 端，则提供 Vbus、Vconn，并继续作为 Source 运行。反之，当 DRP 最终确定

Table 4-36 Voltage on Sink CC pins (Multiple Source Current Advertisements)

Detection	Min voltage	Max voltage	Threshold
vRa	-0.25 V	0.15 V	0.2 V
vRd-Connect	0.25 V	2.04 V	
vRd-USB USB	0.25 V	0.61 V	0.66 V
vRd-1.5 1.5A	0.70 V	1.16 V	1.23 V
vRd-3.0 3A	1.31 V	2.04 V	

USB 供电能力有三种，USB2.0，USB3.2 单通道，USB3.2 双通道

Table 4-18 USB Type-C Current Advertisement and PDP Equivalent

USB Type-C Current		PDP Equivalent
Default	500 mA (USB 2.0)	2.5 W
	900 mA (USB 3.2 single-lane)	4.5 W
	1,500 mA (USB 3.2 dual-lane)	7.5 W
1.5 A		7.5 W
3.0 A		15 W

除了 Source to sink，当 Source 连接到 DRP，DRP 端会自适应为 Sink 端。

当 Sink 连接到 DRP，DRP 端会自适应为 Source 端。

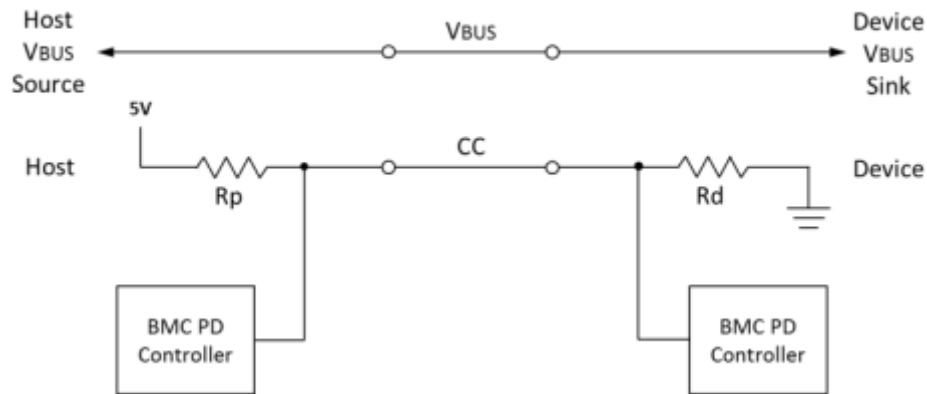
Source 连接到 Source，Sink 连接到 Sink，都是不会成功的。

USB Power Delivery

USB Power Delivery 电力传输是 Type-C 接口的特征之一。当需要 USB PD 电力传输时，使用 Bi-phase Mark Coded (BMC) 编码协议，通过 CC 管脚进行通信。

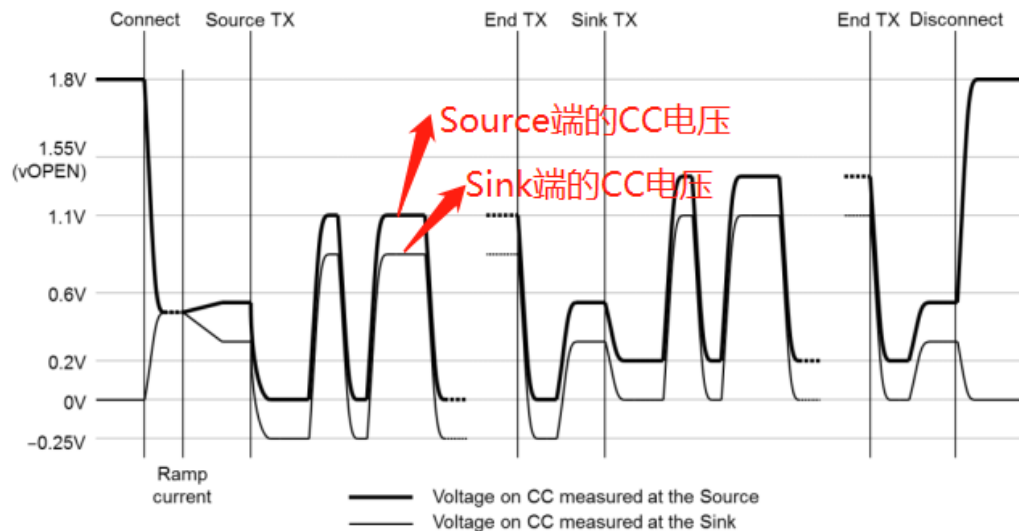
CC 的通信图如下：

Figure 4-37 USB PD over CC Pins



CC上面的 BMC 信号如下图：

Figure 4-38 USB PD BMC Signaling over CC



供电和充电

任何 USB Type-c 端口提供超过默认电流和/或支持 USB Power Delivery 传送应满足要求，就像它是一个充电器。

电源(如电池充电器、集线器、下游端口和主机)均可用于电池充电。充电器使用 USB Type-C 接口或 USB Type-C 电缆实现时，应遵循以下要求：

电源应使用 USB Type-C current 方法公开其功率能力，并可额外支持其他 USB 标准 (USB BC 1.2 或 USB PD)

如果电源能够提供大于默认的 VBUS 的电压，则应完全符合 USB PD 规范，并应仅使用 USB PD 协商其电源供电。

如果电源能够提供大于 3.0A 的电流，则应使用 US PD 规范来确定电缆的载流能力。

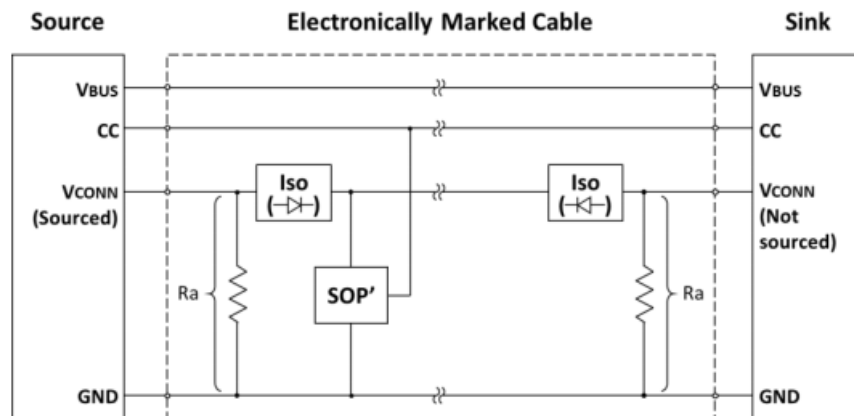
Type C 接口的充电器，只有当它检测到一个接收器被连接时，才能将电源 VBUS 接通，并且当它检测到 Sink 端被分离时，应该从 VBUS 上移除电源。

电子标记的线缆

所有 USB 全功能 Type-C 型电缆应电子标记。eMarker 是电子标记电缆中的元素，该电缆响应 USB PD 发出的标识命令返回有关电缆的信息（如电缆的电流承载能力、性能、厂商标识，支持的 sstx/ssrx 通道数等）。

电子标记的电缆本身用电一般来自于 Vconn，Vbus 也有可能被用到。

Figure 4-42 Electronically Marked Cable with VCONN connected through the cable



一种典型的电子标记电缆如上图。隔离元件(Iso)应防止 Vconn 通过电缆的端到端 Ra 电阻的作用是高速 Source 端，本电缆需要用到 Vconn。

VPAs 和 VPDs

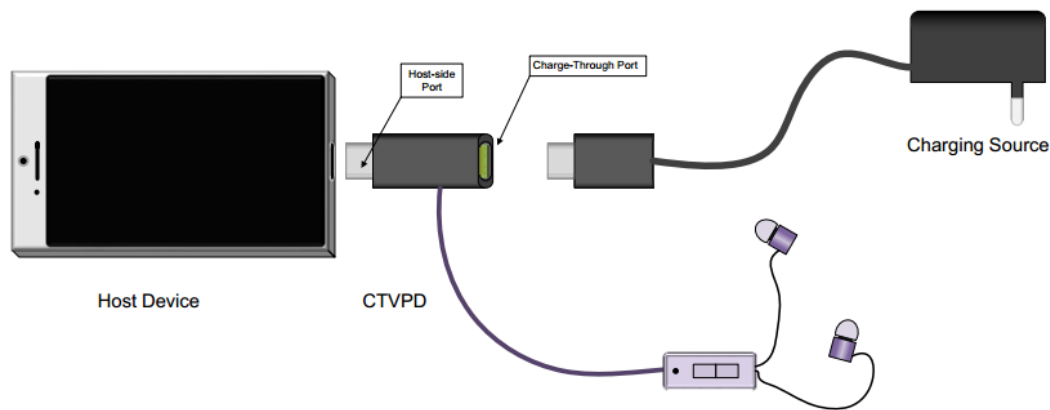
VPAs：VCONN-Powered Accessories--Vconn 驱动的附件

VPDs：VCONN-Powered USB Devices--Vconn 驱动的 USB 设备

VPAs 和 VPDs 都是直接连接的 sink，只需 Vconn 即可操作。两者都在 Vconn 上接有电阻 Ra，在 CC 上接有电阻 Rd。通过判断 Vconn 是否被移除，并以此来判断设备是否断开连接（在 Vbus 没有的时候）。

如果 VCONN 供电配件希望提供充电功能，则必须通过在主机和充电端口上独立协商电压和电流来实现，并且可能在将 Source 端电压传输到 Sink 之前重新调节电压。Sink 能够获取 VPAs 通告给它的可承载电流。

Figure 4-44 Example Charge-Through VCONN-Power USB Device Use Case



电阻值设置

各电流值对应的 Rp 的值如下表：

Table 4-24 Source CC Termination (Rp) Requirements

Source Advertisement	Current Source to 1.7 – 5.5 V	Resistor pull-up to 4.75 – 5.5 V	Resistor pull-up to 3.3 V ± 5%
Default USB Power	80 μA ± 20%	56 kΩ ± 20% (Note 1)	36 kΩ ± 20%
1.5 A @ 5 V	180 μA ± 8%	22 kΩ ± 5%	12 kΩ ± 5%
3.0 A @ 5 V	330 μA ± 8%	10 kΩ ± 5%	4.7 kΩ ± 5%

Rp 都是 5.1K 电阻下地，电源供电能力的检测与否与电阻精度相关

Table 4-25 Sink CC Termination (Rd) Requirements

Rd Implementation	Nominal value	Can detect power capability?	Max voltage on pin
± 20% voltage clamp ¹	1.1 V	No	1.32 V
± 20% resistor to GND	5.1 kΩ	No	2.18 V
± 10% resistor to GND	5.1 kΩ	Yes	2.04 V

Ra 的值的大小范围为：800Ω-1.2K

Table 4-26 Powered Cable Termination Requirements

	Minimum Impedance	Maximum Impedance
Ra	800 Ω^1	1.2 k Ω

相关电压范围

在 Sink 与 Source 连接后，因为 Rp 与 Rd 分压的原因，Sink 端的 CC 的电压范围如下表：

Table 4-36 Voltage on Sink CC pins (Multiple Source Current Advertisements)

Detection	Min voltage	Max voltage	Threshold
vRa	-0.25 V	0.15 V	0.2 V
vRd-Connect	0.25 V	2.04 V	
vRd-USB	0.25 V	0.61 V	0.66 V
vRd-1.5	0.70 V	1.16 V	1.23 V
vRd-3.0	1.31 V	2.04 V	

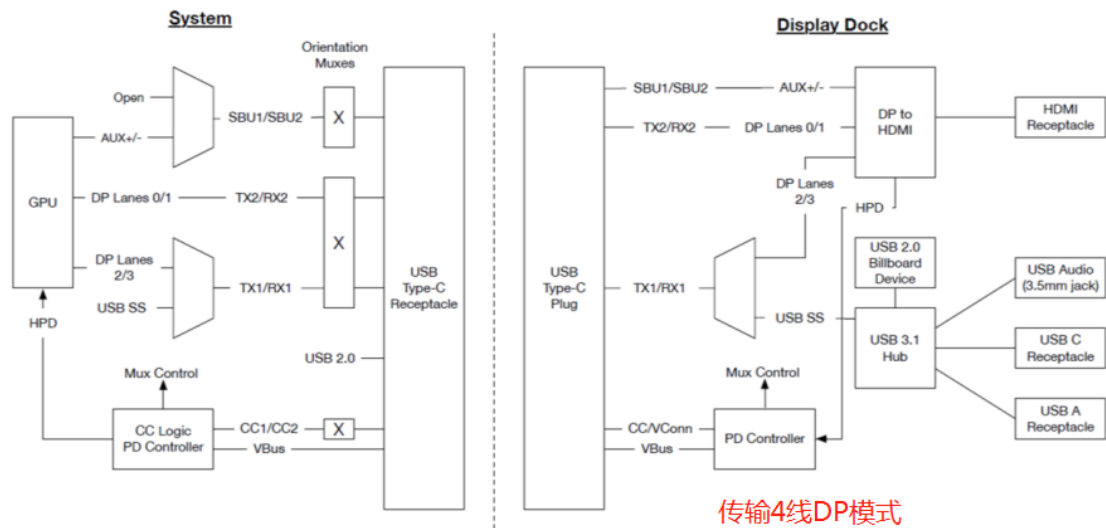
功能扩展

USB Type-C 的牛逼之处就在于其功能扩展，即它不仅仅在只是用来传输 USB 信号了，可以拓展用于其它功能。

USB Type-C 协议里面，拓展功能称之为 Alternate Mode，如何进入 Alternate Mode 呢。有很多种功能，比如 4 lane DP，DP 2lane+USB3.0，自然得在一开始就通过协议来沟通告知进入哪一种模式。

那么是如何沟通的呢？还是通过 CC 管脚，通过 PD 协议来完成。

Figure 5-5 USB DisplayPort Dock Example



模拟音频模式

3.5mm 音频接口可以转 Type-C 端口，USB2.0 数据通道传输模拟音频信号，音频右声道接 DP，音频左通道接 DN，MIC 信号则连接在 SBU 引脚上，在这个模式当中，电源可以提供到 500mA 电流。

如何工作在音频模式呢？

通过将 CC 引脚和 VCON 短接接，并且下拉电阻小于 $R_a/2$ (根据上文， R_a 最小为 800Ω ，则小于 400Ω)，或者分别对地，下拉电阻小于 R_a (小于 800Ω)，则 Host 会识别为音频模式。

Figure A-2 Example 3.5 mm to USB Type-C Adapter Supporting 500 mA Charge-Through

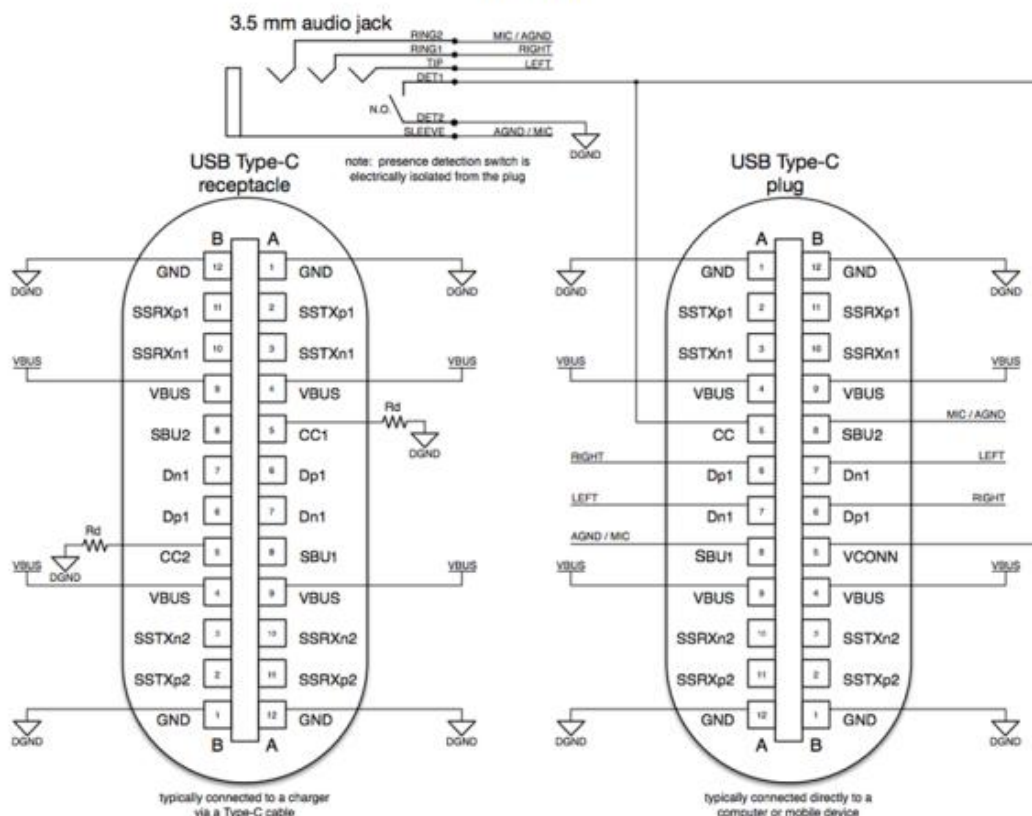


Table A-2 USB Type-C Analog Audio Pin Electrical Parameter Ratings

Plug Pin	USB Name	Analog Audio Function	Min	Max	Units	Notes
A6/B6	Dp	Right	-3.0	3.0	V	A6 and B6 shall be shorted together in the analog audio adapter
A7/B7	Dn	Left	-3.0	3.0	V	A7 and B7 shall be shorted together in the analog audio adapter
A8	SBU1	Mic/AGND	-0.4	3.3	V	
B8	SBU2	AGND/Mic	-0.4	3.3	V	

扫描下方二维码，回复“**USB**”，可获得官方协议原文件。

获得硬件资料，欢迎关注微信公众号：[硬件工程师炼成之路](#)。

