

USB Type-C PD 电源协商问题的分析处理

Yadong Duan

摘要

随着USB Type-C接口逐渐可以实现万物互联，越来越多的接口逐渐被USB Type-C 接口所替代。USB Type-C PD控制器作为笔记本连接外接设备的桥梁。由于USB Type-C PD集成了USB/DP/TBT/不同功率的协商，使其在开发过程中面临了极大的挑战。本文针对 USB Type-C PD控制器在电源协商及在该过程中异常的连接问题进行分析，并结合TI常用的控制器TPS6699x系列进行调试，帮助客户定位并解决电源问题。

Contents

1	USB Type-C PD SPR 电源沟通流程.....	2
2	USB Type-C PD 电源问题的分析	3
3	USB Type-C PD 电源问题的总结	6

1 USB Type-C PD SPR 电源沟通流程

Type-C PD (Power Delivery) 协议作为 USB Type-C 接口的一项重要扩展,旨在实现高效、安全的电力传输和快速数据通信。这一协议通过统一的 USB Type-C 接口,满足了移动设备对于更高充电功率和更快数据传输速度的需求,为用户带来了前所未有的便捷体验。当前 USB Type-C PD 接口广泛应用于智能手机、平板电脑、笔记本电脑等电子设备中,成为现代科技发展的重要推动力。

在实际应用过程中,USB Type-C PD 协议遵循 USB 3.2 等相关技术规范与标准。这些标准定义了 PD 设备之间的通信协议和电源管理策略,确保了不同设备之间的兼容性和稳定性。同时,USB-IF 还负责管理和维护 PD 协议的发展,推动其不断优化和升级。

对于 3.2 的版本的 USB Type-C PD 协议标准详细的规定电源和数据的协议和协商过程。对于 USB Type-C 的协议,源端(Source)的 CC1 和 CC2 引脚上拉电阻(R_p),接收端(Sink)的 CC1 和 CC2 引脚下拉电阻(R_d)。源端(Source)和接收端(Sink)通过末端检查电路来判断是否确认连接。当源端和接收端角色确认有效连接后,源端和接收端通过 CC 线进行单线 BMC 编码通信,传递协议交互信息,源端(Source)可以通过电源总线向接收端(Sink)提供能量,如 Figure1 所示。

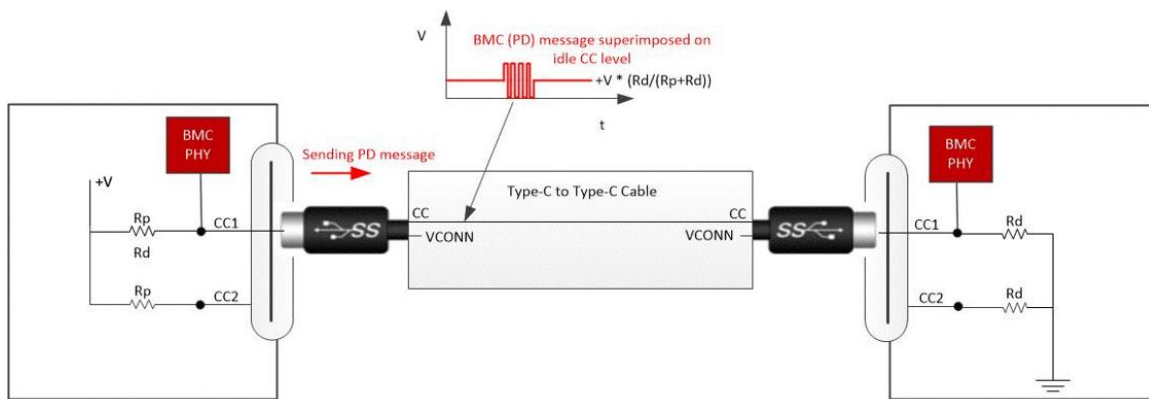


Figure 1. 通过 CC 引脚定义 VBUS 方向

对于大于 15W(5V/3A)功率协商,USB PD 的协议规定了固定电压充电(Fix supply PDO)模式,可编程电源 (PPS) 充电模式和可调电压电源 (AVS) 充电的模式。相关协议规定了 SPR(Standard Power Range)协议下的 5V/9V/20V 在源端(Source)和接收端(Sink)在不同场景下的协商过程,其主要的协商流程如 Figure 2 所示.对于协商的过程主要分为如下四个不同的阶段。

第一个阶段:源端(Source)会通知接收端(Sink)的功率能力,其主要信息包含源端(Source)的相关信息:电源模式(Power role)/只支持源端(Source)/只支持接受模式(Sink),或者兼容两种模式(Dual role),和模式下的电压挡位和电流挡位。接收端(Sink)收到相应信息后会发送校验信息(GoodCRC),该消息发送的方式主要是用它来检测消息的接收方是否由于配置通道(CC)上的噪音或其他干扰而未正确接收消息。当完成编码校验后进入到第二个阶段。

第二阶段:接收端(Sink)会根据源端(Source)的功率信息发送请求。例如源端(Source)的固定电压电流的充电功率(Fix supply PD)有三个不同功率等级,分别为 5V@3A /9V@3A/20V@3A,而接收端(Sink)需要的工作电流为 9V@1A 的功率等级,最大的功率等级为 9W。接收端(Sink)会发送请求第二个固定电压的挡位,工作电流挡位为 10mA,字段会设置为 100,即 $10\text{mA} * 100 =$

1A。源端(Source)收到 request 的编码信息后会完成信息校验，当完成编码校验后进入到三个阶段。

第三阶段：源端(Source)在收到接收端(Sink)的 request 后。源端(Source)会向接收端(Sink)收到的信息(Accept)。源端(Source)在此阶段开始在规定时间内调整输出的电压。接收端(Sink)收到编码信息后会完成信息校验，当完成编码校验后进入到四个阶段。

第四个阶段：源端(Source)在规定时间内输出相应的电压后，源端(Source)会向接收端(Sink)发送电源已达到所需的工作条件(PS_RDY)的信息。接收端(Sink)收到编码信息后会完成信息校验，当完成校验后，源端(Source)和接收端(Sink)的信息完成了相应了电源信息的交互。

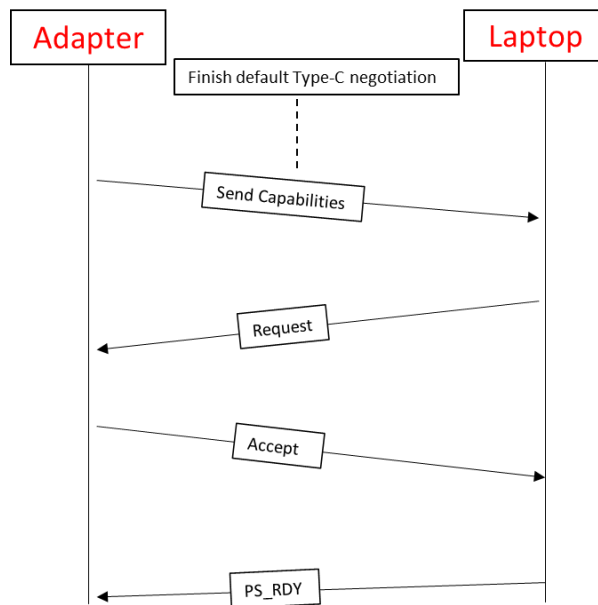


Figure 2. Type-C PD SPR 电源协议流程

2 USB Type-C PD 电源问题的分析

上述章节已经详细介绍了 Type-C PD 的详细的沟通流程，所以对于电源问题，首先可以进行 USB Type-C PD 协议的测试，判断是否符合 USB Type-C PD 的协议电源协议的沟通流程。当电源沟通出现问题，协商过程容易出现 Hard reset。本节结合 USB Type-C PD 电源的实际的案例，提供定位并解决电源问题的分析方向。本文主要结合两个案例来分析可能会产生 Hard reset 问题的情况。

第一个案例，主要如 Figure 4 所示，笔记本和适配器正在进行 USB Type-C PD SPR 电源协议沟通，突然间出现了 Hard reset。在此过程中，笔记本和适配器还没有完成电源协商，适配器在接受笔记本发送的 request 之后，没有发送 PS_RDY。

SOP_PRIME	VENDOR_DEFL...	0	RSVD	DFP_UFP	1	v3	635	100,809	5,178	0x108F 0xFF00 ²
SOP_PRIME	GOODCRC	0	RSVD	CBL_PLUG	0	v1	505	114	5,187	0x101
SOP_PRIME	VENDOR_DEFL...	0	RSVD	CBL_PLUG	5	v3	1,170	1,000	5,204	0x518F 0xFF00 ²
SOP_PRIME	GOODCRC	0	RSVD	DFP_UFP	0	v2	503	37	5,213	0x41
SOP	SOURCE_CAPA...	0	DFP	SRC	2	v3	768	4,125	5,257	0x21A1 0x7019
SOP	GOODCRC	0	UFP	SNK	0	v2	504	38	5,257	0x41
SOP	REQUEST	0	UFP	SNK	1	v3	636	4,194	5,302	0x1082 0x2384 ¹
SOP	GOODCRC	0	DFP	SRC	0	v2	503	48	5,302	0x161
SOP	ACCEPT	1	DFP	SRC	0	v3	503	4,129	5,346	0x3A3
SOP	GOODCRC	1	UFP	SNK	0	v2	504	43	5,346	0x241
HARD_RESET	C_RSVD0	0	RSVD	DFP_UFP	0	v1	305	288,301	5,116	0x0

Figure 3. 协商过程中出现 Hard reset

根据协议内容如 Figure 5 可知，当适配器的VBUS 电压没有达到阈值电压前，适配器是不会发送 PS_RDY。查询 Figure 6 的 USB Type-C PD 电源协议标准可以发现适配器的标准时间内没有提供 request 的电压，笔记本可以发送 Hard reset 来停止电源沟通。所以该电源问题可以调节适配器输出电压的时间，使其输出电压在 Accept 之后的 325ms 以内达到阈值范围之内。

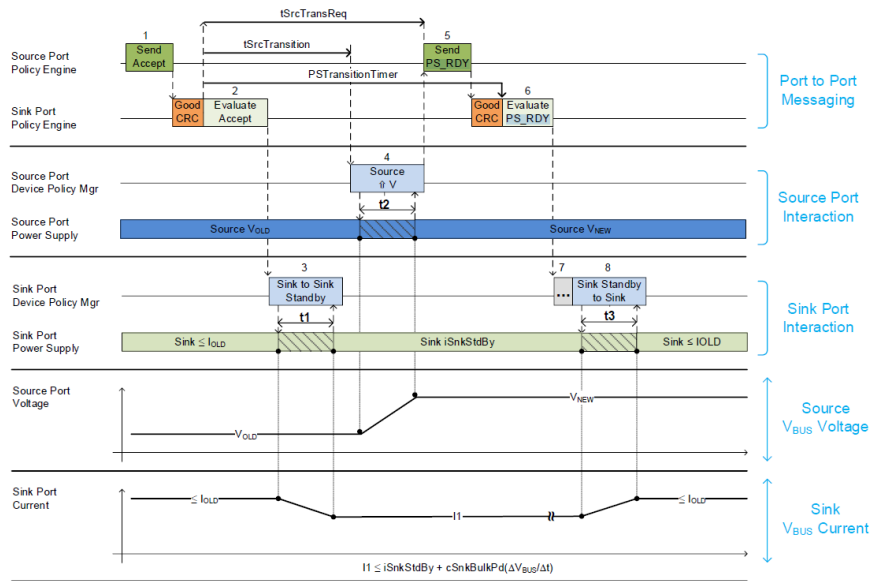


Figure 4. 电压转换图

<i>tSrcTransReq</i>	SPR Mode	Time from the last bit of the <i>GoodCRC</i> Message acknowledging the <i>Accept</i> Message in response to the Request Message until the <i>PS_RDY</i> Message must be started. Applies only to SPR mode voltage transitions.			325	ms	Section 7.3
---------------------	----------	--	--	--	-----	----	-------------

Figure 5. SPR 的 tSrcTransReq 要求

第二个案例，如 Figure 7 所示，笔记本和适配器在完成 USB Type-C PD 电源协议的正常沟通过程后，突然发送 Hard reset，并且笔记本和适配器重复连接之后，笔记本不响应适配器的 source cap 的信息，最后适配器和笔记本之间没有完成电源沟通。

对于该问题，检查完沟通协议的流程后，还需要观察电源沟通过程的 CC 和 VBUS 的表现行为，首先找到协议沟通过程中出现的异常现象。判断电压在沟通过程是否达到阈值电压。如果电压正常，进一步判断是否出现过流的行为。如果电压电流正常，最后可以判断 CC 行为是否符合协议的要求。

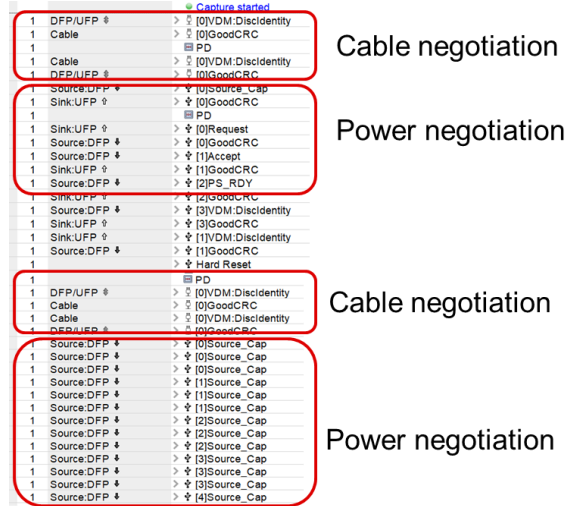


Figure 6. 协议沟通完成之后出现 Hard reset

协议测试结果的波形如 Figure 8 所示，检查发现 Hard reset 的点是电压从 20V 跌落至 1.5V，在此之后，适配器提供 5V 的供电电压，但在 5V 供电阶段，笔记本没有响应适配器的 source cap 的信息。并且检查电压和电流，没有发现过压和过流的现象（红色为电压，棕色为电流）。

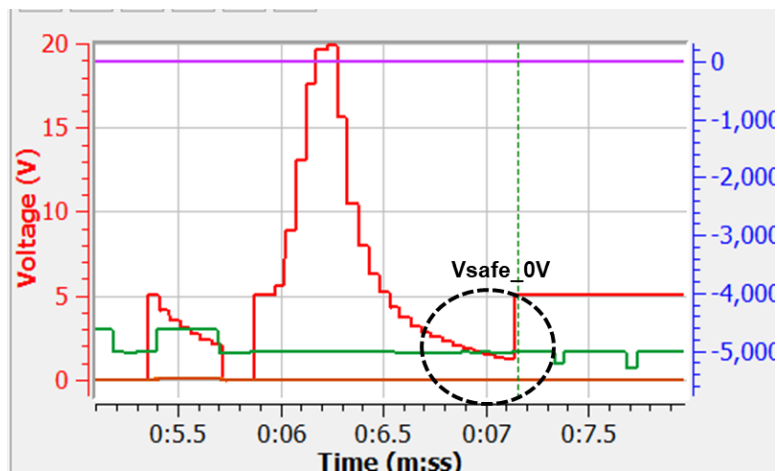


Figure 7. 协议沟通过程中的波形

通过检查协议波形，发现适配器由于内部 source cap 信息需要切换，并发生 Hard reset，但适配器主动将电压降到 1.5V 后主动升到 5V。查询 USB Type-C PD 电源协议标准如 Figure 9 可知，适配器的 VSafe 电压范围没有小于 0.8V。该行为不符合 PD 的标准，所以笔记本才没有响应适配器发送的 source cap 的信息，最终导致笔记本和适配器电源沟通失败。

		Min		Max		
vSafe0V	Safe operating Voltage at "zero volts".	0		0.8	V	Section 7.1.4.5
vSafe5V	Safe operating Voltage at 5V. See [USB 2.0] and [USB 3.2] for allowable V _{BUS} Voltage range.	4.75		5.5	V	Section 7.1.4.5

Figure 8. VSafe 0V and VSafe 5V spec

所以此次发生 Hard reset 后没有完成协商充电，如果电源协议正常沟通，可以检查 USB Type-C PD 的 VBUS 和 CC 的波形，判断 VBUS 的电压和电流是否达到协议要求，从而定位问题。为解决上述问题，TPS6699X 系列如 Figure 10 的 VSafe 0V Dongle 寄存器，兼容相关适配器，从而完成电源协商和充电。

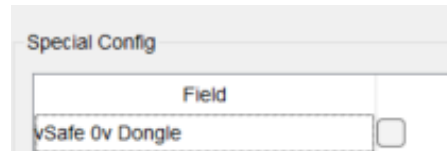


Figure 9. VSafe 0V Dongle

3 USB Type-C PD 电源问题的总结

如上述章节描述，对于 USB Type-C PD 的电源问题：第一步，检查 USB Type-C PD 电源协议的沟通流程，如果没有完成协议沟通，可以准确定位问题发生的时间点，依据协议标准分析源端 (Source) 和收端 (Sink) 表现行为，从而定位并解决电源问题。如果完成沟通协议沟通流程，第二步根据异常 Hard reset 的时间，定位是否出现保护，或者检查 VBUS 和 CC 的行为是否符合协议的要求，依据 USB Type-C PD 电源协议确认问题点，从而定位并解决电源问题。

参考文献

- [1] TPS65994 Datasheet, Dual Port USB Type-C and USB PD Controller with Integrated Source Power Switches, Texas Instruments.
- [2] Universal Serial Bus Power Delivery Specification 3.2

重要通知和免责声明

TI“按原样”提供技术和可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证没有瑕疵且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、与某特定用途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、安保法规或其他要求。

这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的相关应用。严禁以其他方式对这些资源进行复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。对于因您对这些资源的使用而对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，您将全额赔偿，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 销售条款](#)、[TI 通用质量指南](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款或 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。除非德州仪器 (TI) 明确将某产品指定为定制产品或客户特定产品，否则其产品均为按确定价格收入目录的标准通用器件。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

版权所有 © 2025，德州仪器 (TI) 公司

最后更新日期：2025 年 10 月