

USB Type-C 接口 PD 协议解决方案

摘要

为了满足现代电子设备不断增长的连接需要，USB Type-C 标准已经得到长足的发展，相比传统的 USB 接口能提供更高的数据传输速度和更高的电源传输功率，改进了的连接器体积更小、使用更方便。本文对 USB Type-C 系统和 PD 协议的运作方式进行了介绍，提供了几个 USB Type-C 应用的例子，介绍了一些立锜提供的电源管理解决方案供读者参考。

目录

1. 概述.....	2
2. USB Type-C 标准进行数据和电源配置的方法	6
3. 立锜提供的 USB Type-C PD 方案.....	15
4. 使用 RT7786 和 RT7207 的 PD 电源适配器.....	16
5. USB Type-C 接口和 PD 协议在车载充电器中的应用	18
6. 支持 USB Type-C/PD 应用的双角色控制器	21
7. USB Type-C 接口电缆中的电子标签	24
8. 总结.....	25

1. 概述

USB Type-C 标准的出现是为了满足不断增长的现代设备之间的连接需要，它在传统 USB 标准的基础上提供了更高的电源传输能力和数据传输速度，重新设计的连接器体积更小、使用起来更方便。

表 1 将旧有的 USB 标准和 USB Type-C 标准放在一起进行了比较。

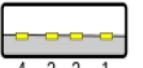
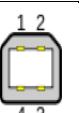
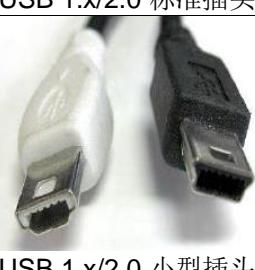
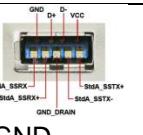
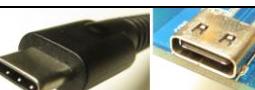
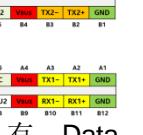
连接器外观	连接器触点	数据传输速度	容许通过的电流电压指标																																																																																																
	  Type A Type B 1 = VBUS, 4 = GND 3 = Data+, 2 = Data-																																																																																																		
	  Mini-A Mini-B 1 = VBUS, 5 = GND 3 = Data+, 2 = Data- 4 = ID : 接地代表主机, 浮空代表外设	USB 1.0/1.1 : 低速: 1.5Mbps 全速: 12Mbps USB 2.0 : 高速: 480Mbps	5V/500mA BC1.2 : 5V/1.5A (专用于充电系统)																																																																																																
	  Micro-A Micro-B 1 = VBUS, 5 = GND 3 = Data+, 2 = Data- 4 = ID : 接地代表主机, 浮空代表外设																																																																																																		
	  1 = VBUS, 5, 8 = GND 2 = Data-, 3 = Data+ 4 = USB-OTG, 6 = Tx-, 7 = Tx+, 9 = Rx-, 10 = Rx+	USB 3.0 : 超速 : 5Gbps	5V/900mA																																																																																																
	  插座： <table border="1"> <tr><td>A12</td><td>A2</td><td>A3</td><td>A4</td><td>A5</td><td>A6</td><td>A7</td><td>A8</td><td>A9</td><td>A10</td><td>A11</td><td>A12</td></tr> <tr><td>GND</td><td>TX1+</td><td>TX1-</td><td>VCONN</td><td>CC1</td><td>D+</td><td>D-</td><td>SBU1</td><td>VCONN</td><td>RX2+</td><td>RX2-</td><td>GND</td></tr> <tr><td>GND</td><td>RX1+</td><td>RX1-</td><td>VCONN</td><td>SBU2</td><td>D-</td><td>D+</td><td>CC2</td><td>VCONN</td><td>TX2-</td><td>TX2+</td><td>GND</td></tr> <tr><td>B12</td><td>B11</td><td>B10</td><td>B9</td><td>B8</td><td>B7</td><td>B6</td><td>B5</td><td>B4</td><td>B3</td><td>B2</td><td>B1</td></tr> </table> 插头： <table border="1"> <tr><td>A12</td><td>A11</td><td>A10</td><td>A9</td><td>A8</td><td>A7</td><td>A6</td><td>A5</td><td>A4</td><td>A3</td><td>A2</td><td>A1</td></tr> <tr><td>GND</td><td>RX2+</td><td>RX2-</td><td>VCONN</td><td>SBU1</td><td>D-</td><td>D+</td><td>CC</td><td>VCONN</td><td>TX1-</td><td>TX1+</td><td>GND</td></tr> <tr><td>GND</td><td>TX2+</td><td>TX2-</td><td>VCONN</td><td>SBU2</td><td>VCONN</td><td>RX1-</td><td>RX1+</td><td>GND</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>B12</td><td>B2</td><td>B3</td><td>B4</td><td>B5</td><td>B6</td><td>B7</td><td>B8</td><td>B9</td><td>B10</td><td>B11</td><td>B12</td></tr> </table> Legacy 继续保有 Data-, Data+ 新增两对高速传输线 Rx1/2、Tx1/2 新增 CC1/2 用于系统配置 新增 VCONN 为电缆供电 新增 SBU1/2 用于 sideband/ 音频应用	A12	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	GND	TX1+	TX1-	VCONN	CC1	D+	D-	SBU1	VCONN	RX2+	RX2-	GND	GND	RX1+	RX1-	VCONN	SBU2	D-	D+	CC2	VCONN	TX2-	TX2+	GND	B12	B11	B10	B9	B8	B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1	A12	A11	A10	A9	A8	A7	A6	A5	A4	A3	A2	A1	GND	RX2+	RX2-	VCONN	SBU1	D-	D+	CC	VCONN	TX1-	TX1+	GND	GND	TX2+	TX2-	VCONN	SBU2	VCONN	RX1-	RX1+	GND				B12	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12	USB 2.0 : 高速 : 480Mbps USB 3.0 : 超速 : 5Gbps USB 3.1 : 超速+ : 10Gbps	默认 : 5V / 1.5A 5V/3A max USB PD : 5V ~ 20V, 5A max USB PD 3.0 with PPS 3V ~ 20V, 5A max
A12	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12																																																																																								
GND	TX1+	TX1-	VCONN	CC1	D+	D-	SBU1	VCONN	RX2+	RX2-	GND																																																																																								
GND	RX1+	RX1-	VCONN	SBU2	D-	D+	CC2	VCONN	TX2-	TX2+	GND																																																																																								
B12	B11	B10	B9	B8	B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1																																																																																								
A12	A11	A10	A9	A8	A7	A6	A5	A4	A3	A2	A1																																																																																								
GND	RX2+	RX2-	VCONN	SBU1	D-	D+	CC	VCONN	TX1-	TX1+	GND																																																																																								
GND	TX2+	TX2-	VCONN	SBU2	VCONN	RX1-	RX1+	GND																																																																																											
B12	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12																																																																																								

表 1

从表 1 信息可以看出 USB Type-C 标准具有一些新的特性：

- USB –Type-C 插头是可反转使用的，任一方向插入均可；无论怎样插入，电源的连接都是正确的。由于插座上含有两组连在一起的数据线 D+/D-，所以插头以任意方向插入时数据线都是连通的。用于高速通讯的 TX/RX 不能被连接在一起，所以 CC 线被用于对电缆的插入方向进行标识，并经由硬件线路对 TX/RX 进行路由，确保配置正确。

图 1 显示的是 USB Type-C 插座和电缆插头的引脚配置。

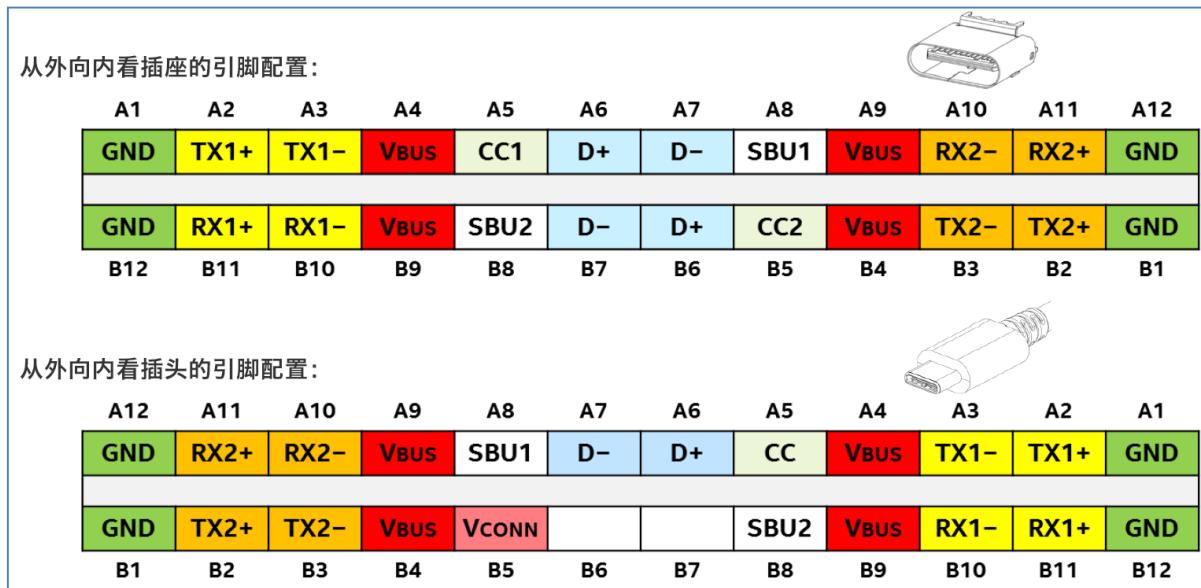


图 1

- USB Type-C 标准相对于旧标准的另一不同点是它引入了双角色能力。每根 USB Type-C 电缆的两端都是完全等同的，这就意味着连接起来的两台设备必须相互进行沟通以确定自己应作为主机还是外设而存在。角色的沟通需针对数据和电源分别进行，此工作在电缆接通之后就要进行。用于数据通讯的主机端口被称为下行端口 (Downstream Facing Port, DFP)，外设端口被称为上行端口 (Upstream Facing Port, UFP)。而电源方面，供电端被称为源端 (Source)，耗电端被称为吸端 (Sink)。有的设备既可以有数据上的双角色 (Dual Roles of Data, DRD) 能力，又具有电源上的双角色 (Dual Roles of Power, DRP) 能力。CC 线在两台设备连接期间能起到定义电源角色的作用。
- USB Type-C 系统带来的另一个好处是较高的供电能力。传统的 USB 电缆只容许提供 2.5W 功率，USB Type-C 电缆则容许提供高达 5V/3A 即 15W 的最大功率，如果采用了电源传输 (Power Deliver, PD) 协议，电压电流指标就可以提升到 20V/5A 即 100W 的最大功率，这就容许通过 USB 端口为大型设备如监视器等设备供电，也容许对含有大型电池包的笔记本电脑等设备进行充电。新的 USB PD 3.0 协议还支持可编程电源 (Programmable Power Supply, PPS) 协议，容许对总线电压和电流进行精确调节，而电压则可以低于 5V。利用这样的协议，使用可调的总线电压对电池进行直接充电的高效直充系统就成为可能，这时的总线电压可以低达 3V。标准的 Type-C 电缆额定的负载能力是 3A，当更高的电流出现时，含有电子标签的电缆就必须被使用了，其中的电子标签可经 CC 线对电缆的能力进行标识。电子标签需要的电源供应是 5V 的，可用 CC 线经由电缆的 VCONN 向其提供。
- 经由 TX/RX 线对提供的 10Gbps 高速通讯能力使得原来须由专用电缆提供的通讯如 HDMI / DisplayPort/Thunderbolt 等经由 USB 电缆进行传输成为了可能，4k 的高清视频信号传输也完全没有问题。使高清 HDMI 信号经由 USB Type-C 电缆传输的应用需要将电缆的数据线进行特殊的配置，这被称为替换模式 (Alternate Mode)。

下面的图片给出了一些 USB Type-C 应用的例子，与之相关的立锜 IC 出现在其中。

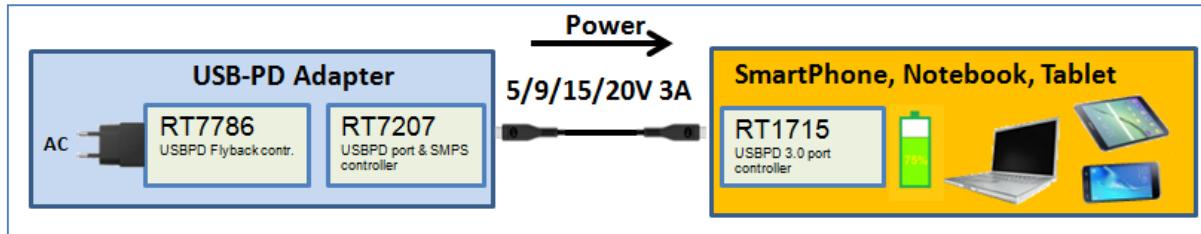


图 2

图 2 显示的是典型的手机快充解决方案，其中的电源适配器可以根据手机充电电路的需要提供 5V、9V、15V、20V 等可调的 USB 总线电压。

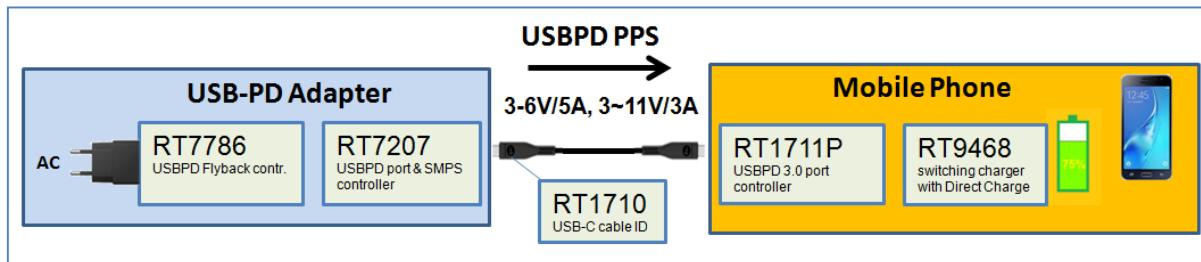


图 3

图 3 显示的应用与图 2 差不多，但是加入了 USB PD 3.0 支持的可编程电源功能，总线电压可在很宽的范围内进行精确调节。由于经过扩展以后的总线电压可以低达 3V，直充的概念已经可以实施，VBUS 可以和电池直接连接起来，USB PD 3.0 协议可对电池电压和电流进行精确调节。

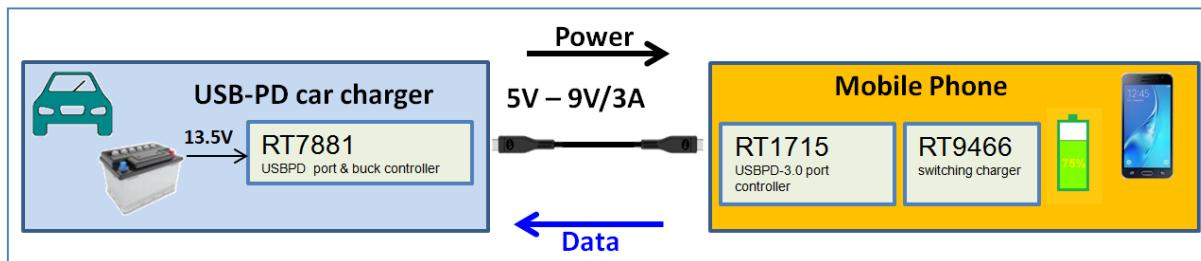


图 4

在图 4 显示的车载充电应用中，车辆电池的供电被转换为 5V 或 9V 以满足手机电池管理芯片的要求，而手机也可通过数据链路向车辆娱乐系统提供音频等数据。

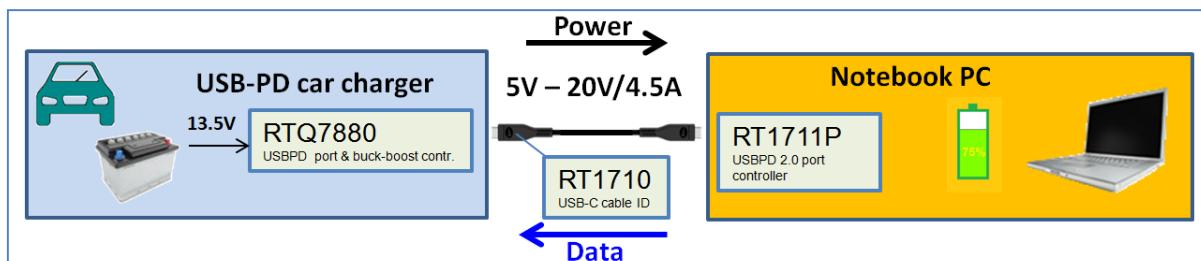


图 5

当需要向大型设备如笔记本电脑等供电时，需要使用较高的总线电压。图 5 所示的是从车辆电源提供 90W 功率给笔记本电脑的解决方案，其中用到了 Buck-Boost 转换器。由于笔记本电脑需要较高的总线电压，必须使用 USB PD 协议。由于电流需要高达 4.5A，所用电缆也必须是使用了电子标签的主动式电缆。

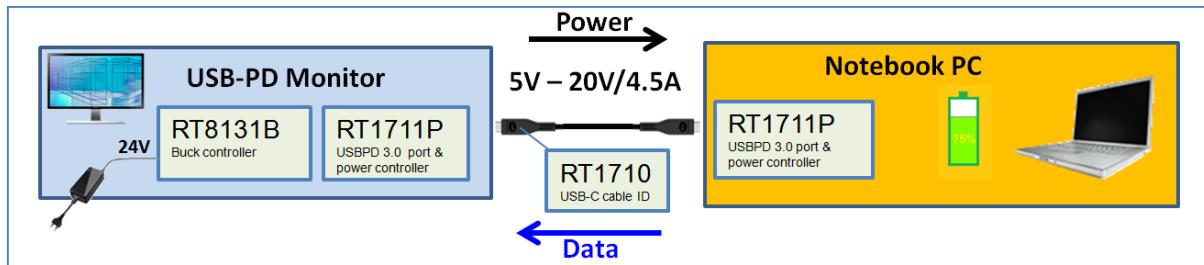


图 6

支持 USB 电源传输协议的计算机显示器可以像图 6 所示的那样为笔记本计算机提供电源供应，它也同时通过同一根电缆的替换模式接收需要显示的数据信息。

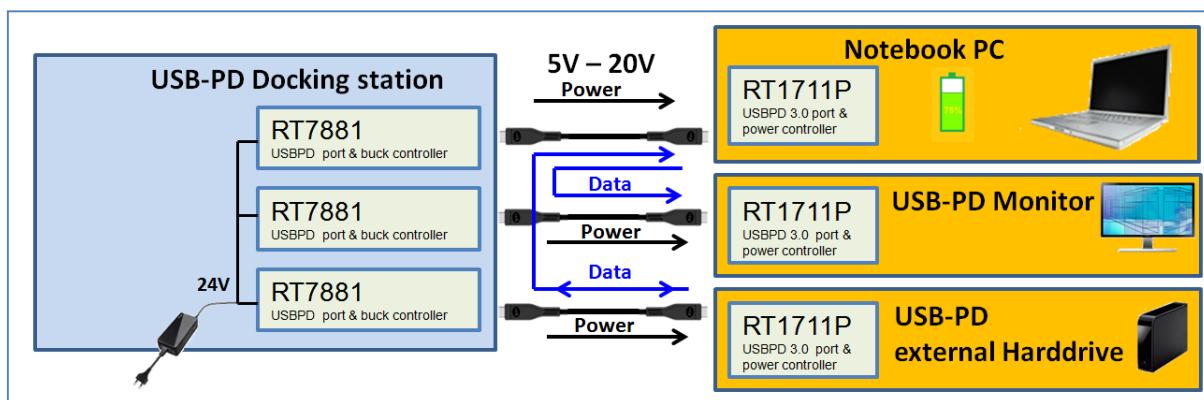


图 7

图 7 示范了一个电源供应站的样子，它可以连接多台设备，向它们提供电源，并且完成它们之间的数据路由工作。

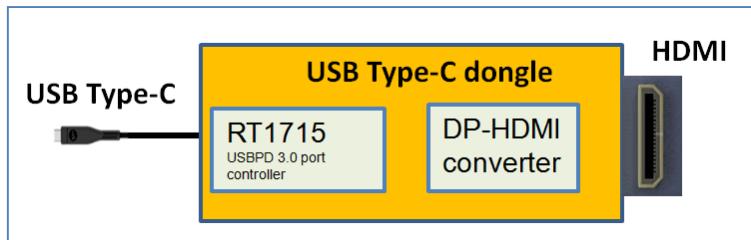


图 8

了解了 USB Type-C 接口以后，便知道会存在将其它端口与之连接起来的需要。图 8 显示的是一个 USB Type-C 和 HDMI 接口之间的转换电缆，它的总线电压总是 5V 的，其电路部分可直接从总线上获取电源供应。

2. USB Type-C 标准进行数据和电源配置的方法

数据的传输：

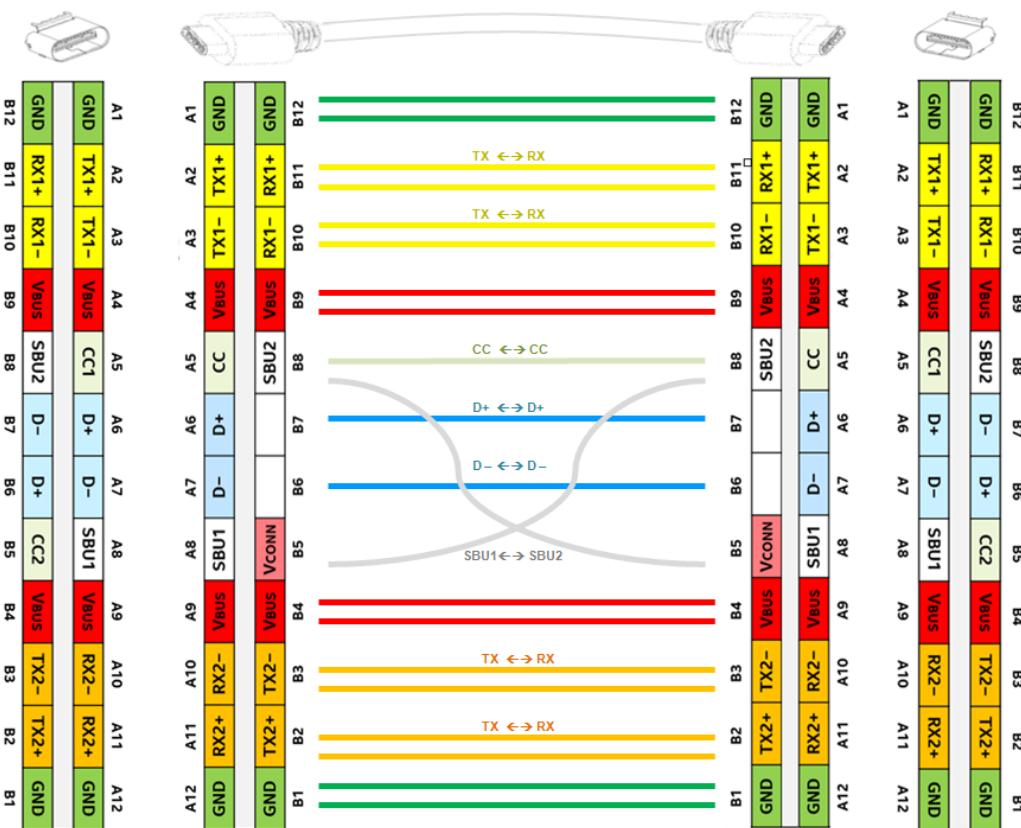


图 9：未扭转、未翻转的直接连接

图 9 显示的是电缆未扭转、插座未翻转时的连接状态。从左侧的插座到右侧的插座，RX1 线对连接到 TX1 线对，RX2 线对连接到 TX2 线对；D+与 D+连接，D-与 D-连接，SBU1 与 SBU2 连接，CC1 经由 CC 线与 CC1 连接。

USB 3.1 仅需使用两对数据线，在此案中，高速数据经由 RX1+/- 和 TX1+/- 从一端传递到另一端。

电缆两端的 VCONN 是不需要连通的。为电缆中电子标签 IC 供电的 VCONN 来自电缆的一端，它在电子标签芯片被确定存在于电缆中即被提供。

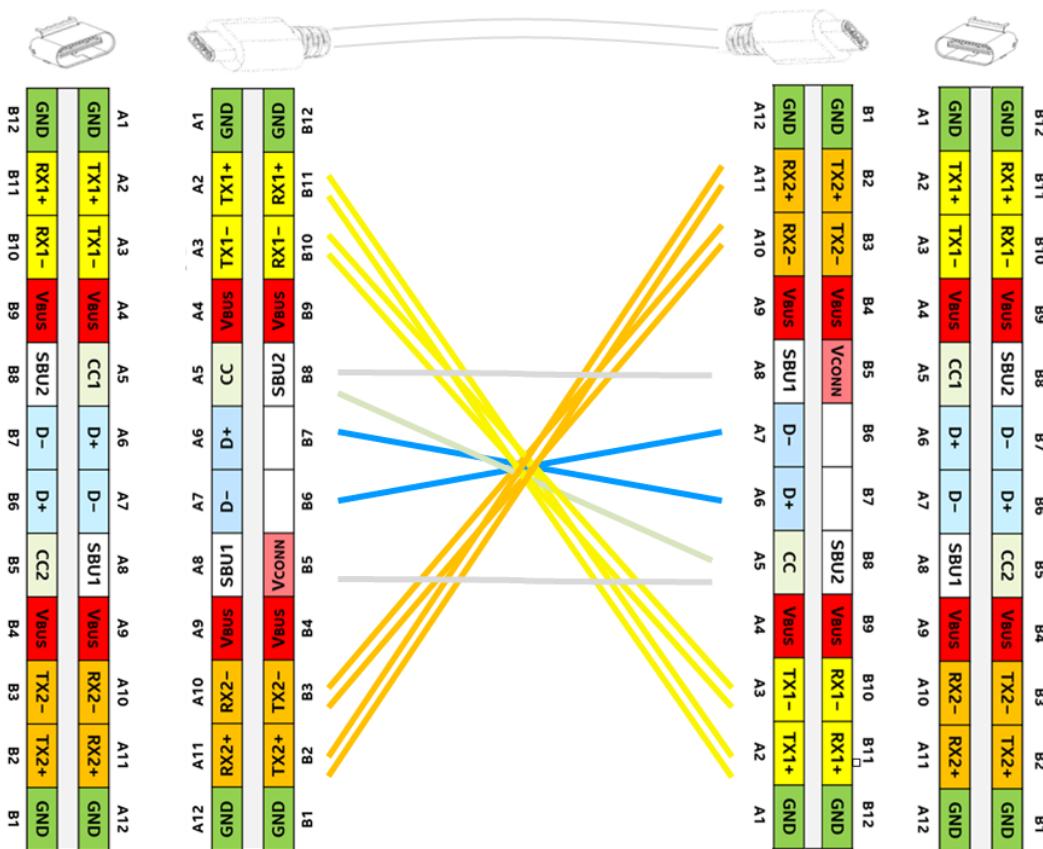


图 10：电缆扭转以后的连接

在插座位置不变的情况下，将电缆扭转以后的连接状态显示在图 10 中。

在这种情形下，从左侧的插座到右侧的插座，RX1 线对连接到 TX2 线对，RX2 线对连接到 TX1 线对，D+ 仍然连接到 D+，D- 仍然连接到 D-，SBU1 连接到 SBU1，SBU2 连接到 SBU2，CC1 经由 CC 线连接到 CC2。现在，高速数据经由左侧的 RX1+/- 和 TX1+/- 到右侧的 RX2+/- 和 TX2+/- 进行传输。

总共有 4 种可能的连接方式：插座翻转或不翻转，电缆扭转或不扭转。

在 USB 3.1 的系统中，RX/TX 数据线需要使用多路复用器针对各种可能的电缆连接状态对 RX/TX 线的连接状态进行配置，使得正确的通讯连接能够形成，图 11 显示了 USB Type-C 端口之间数据线的路由可能性。通过测量每个端子上 CC1/2 的状态即可了解电缆和插座的方向，CC 逻辑控制器可据此完成多路复用器的路由配置，此工作既可在多路复用器中完成，也可能在 USB 芯片组中进行。

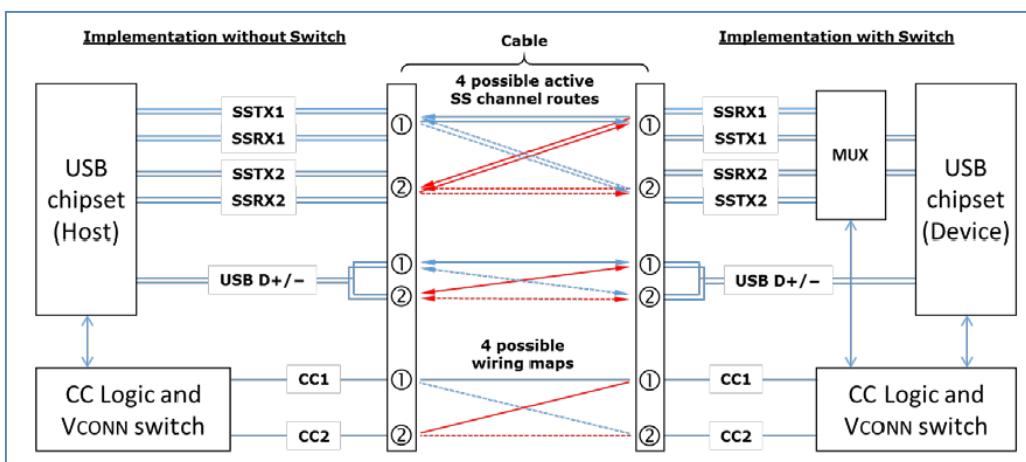


图 11

电源传输:

在不采用电源传输协议的 USB Type-C 接口中，电源从源端传输到吸端的方法如图 12 所示。

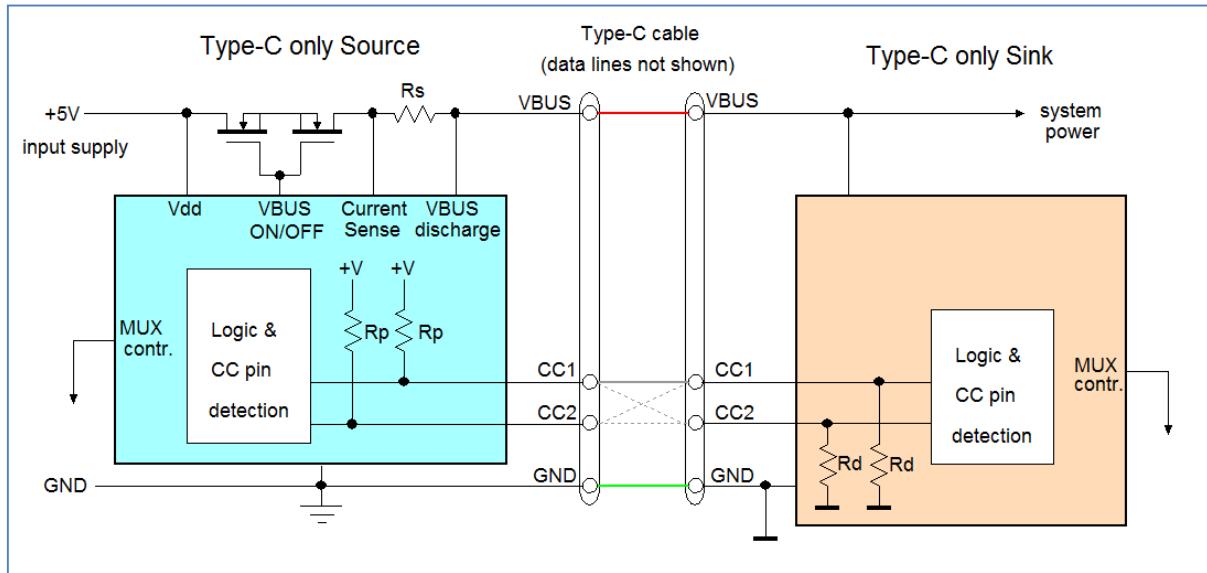


图 12

USB Type-C 的源端总是包含有一个用于接通/关断 VBUS 的 MOSFET 开关，它也可能具有 VBUS 电流的检测能力，其主要作用是对过流状况进行检测，另外还会含有 VBUS 的放电电路。CC1 和 CC2 的检测电路在源端和吸端都会存在。

CC (Channel Configuration) 线的作用是对两个连接在一起的设备进行电源供应的配置。初始情况下，USB Type-C 接口的 VBUS 上是没有电源供应的，系统需要在电缆连接期间进行设备角色的定义，插座上的 CC 线被上拉至高电平的设备将被定义为电源供应者即源端，而被下拉至低电平的设备将被定义为电源消费者即吸端。

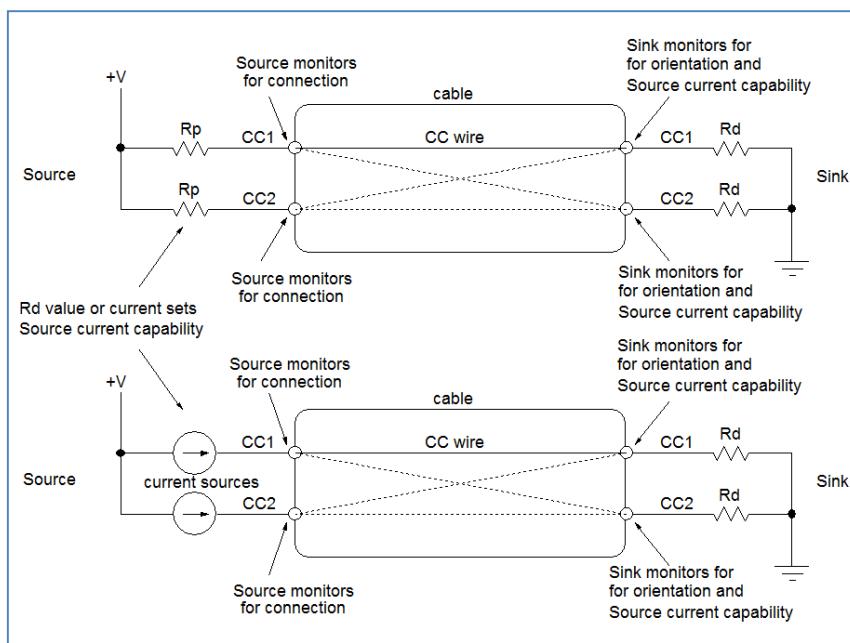


图 13

图 13 显示出了确定电源供求角色、电缆方向和电流供应能力的方法。源端的 CC1 和 CC2 通过电阻 R_p 被拉高，被监测着的 CC1/CC2 在没有连接任何东西时总是处于高电平，一旦吸端接入，CC1 或 CC2 的电压就被电阻 R_d 拉低了。由于电缆中只有一条 CC 线，因而源端可以分辨出是哪个 CC 端被拉低了。吸端的 CC1/CC2 的电压也同样被监

测着，一旦发现某条 CC 线被拉高了，其电压水平就让吸端知道源端电流供应能力。电路中的上拉电阻 R_p 也可以用电流源代替，这在集成电路中很容易实施，而且可以不受 V_+ 电源电压误差的影响。

吸端的下拉电阻 R_d 的定义值是 $5.1\text{k}\Omega$ ，因而 CC 线的电压是由源端上拉电阻 R_p 的值（或电流源的电流值）决定的。已经定义的总线电流能力有 3 档，最低的 CC 线电压（大约 0.41V ）对应的是默认的 USB 电源规格（USB 2.0 的 500mA 或 USB 3.0 的 900mA ），较高的 CC 线电压（大约 0.92V ）对应的电流能力是 1.5A 。假如 CC 线电压为大约 1.68V ，对应的最大电流供应能力为 3A 。相关数据可参照图 14。

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	$80 \mu\text{A} \pm 20\%$	$56 \text{k}\Omega \pm 20\% \text{ (Note 1)}$	$36 \text{k}\Omega \pm 20\%$
$1.5 \text{ A} @ 5 \text{ V}$	$180 \mu\text{A} \pm 8\%$	$22 \text{k}\Omega \pm 5\%$	$12 \text{k}\Omega \pm 5\%$
$3.0 \text{ A} @ 5 \text{ V}$	$330 \mu\text{A} \pm 8\%$	$10 \text{k}\Omega \pm 5\%$	$4.7 \text{k}\Omega \pm 5\%$

图 14

图 15 示范了一个测量案例，其中的电源供应端（源端）被连接到了电源消费端（吸端），使用了普通的 USB Type-C 电缆。

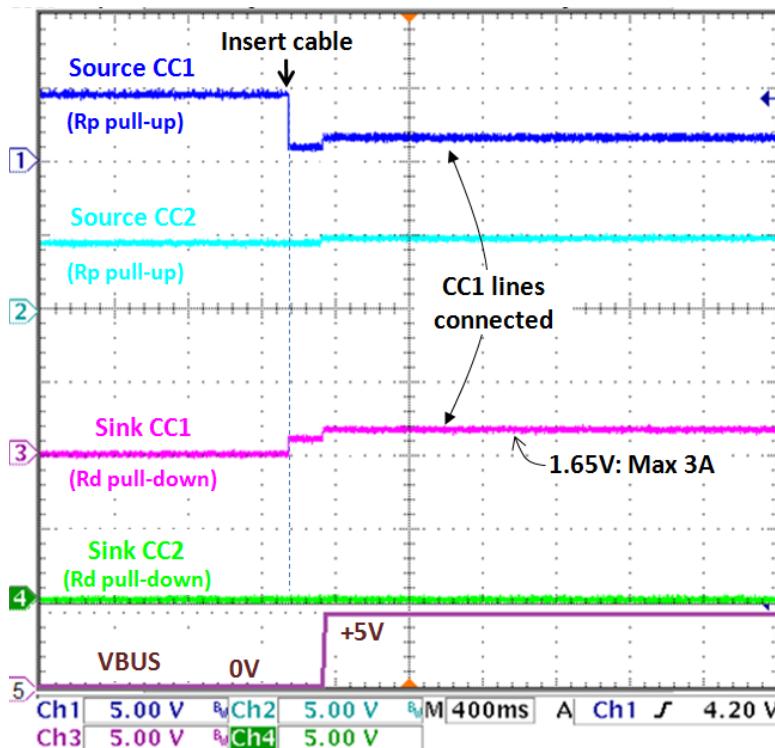


图 15

最初的时候，源端插座上的 CC1 和 CC2 都被电阻 R_p 上拉至高电平，吸端的 CC1 和 CC2 都被下拉电阻 R_d 下拉至低电平。

电缆接通以后，CC1 或 CC2 根据电缆的插入方向而被上拉至较高电压。本案中的电缆没有处于扭转状态，源端的 CC1 和吸端的 CC1 之间被接通，CC1 上出现由 R_p 和 R_d 分压以后的电压，此电压将由吸端进行测量并由此知道源端的电流供应能力是多少。

在此案例中，接通以后的 CC1 的电压大约是 1.65V ，意味着源端最大能供应 3A 电流。

CC 线的连接被确定以后，VBUS 上的 5V 电压将被接通。

在不含电源传输协议的系统中，总线上的电流供应能力由分压器 R_p/R_d 确定，但源端只会供应 5V 电压。

引入电源传输 (Power Delivery, PD) 协议以后，USB Type-C 系统的总线电压可以增加到最高 20V ，源端和吸端之间关于总线电压和电流的交流通过在 CC 线上传输串行的 BMC 编码来完成。

包含 PD 协议的 USB Type-C 系统从源端到吸端的系统框图如图 16 所示。

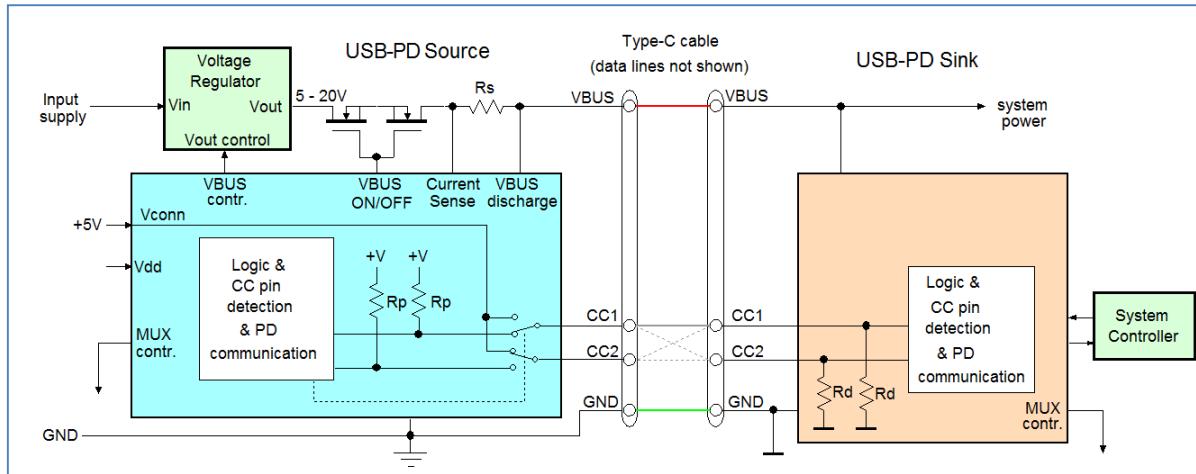


图 16

现在的源端内部包含了一个电压转换器，它是受源端 PD 控制器控制的。根据输入电压条件和最高总线电压的需求，该电压转换器可以是 Buck、Boost、Buck-Boost 或反激式转换器。经过 CC 线进行的 PD 通讯也在 PD 控制器的管控之下。USB PD 系统还需要有一个开关可以将 Vconn 电源切换至一条 CC 线上。（参见后文关于电子标签 IC 的章节。）

当电缆的连接建立好以后，PD 协议的 SOP 通讯就开始在 CC 线上进行以选择电源传输的规格：吸端将询问源端能够提供的电源配置参数（不同的总线电压和电流数据）。由于吸端对电源的需求常常是与吸端的系统有关的（例如电池充电器），吸端的嵌入式系统控制器就需要先与吸端的 PD 控制器进行通讯以确定相应的规格。

图 17 示范的是吸端的 PD 控制器申请一个较高的总线电压的例子。

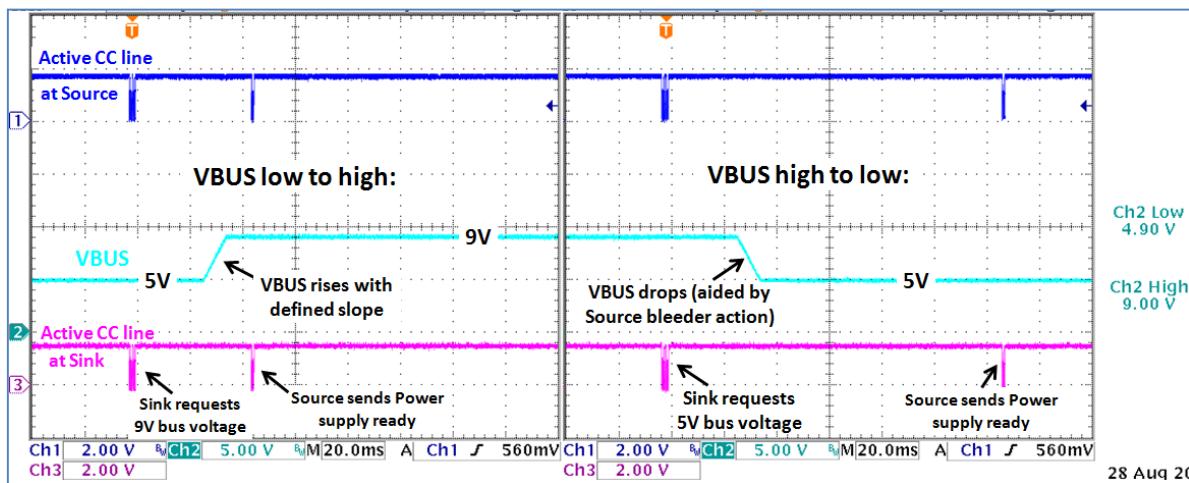


图 17

吸端和源端之间在 CC 线上进行的通讯看起来像如下的样子：

1. 吸端申请获得源端的能力数据。
2. 源端提供它的能力数据信息。
3. 吸端从源端提供的能力数据信息中选出适当的电源配置参数并发出相应的请求。
4. 源端接受请求并将总线电压修改成相应的参数。
在总线电压变化期间，吸端的电流消耗会保持尽可能地小。
源端提升总线电压的过程是按照定义好的电压提升速度来进行的。
5. 总线电压达到最后的数值以后，源端会等待总线电压稳定下来，再发送出一个电源准备好信号。
到了这时候，吸端就可以增加其电流消耗了。
当吸端希望总线电压降低的时候，同样的通讯过程也会发生。

在总线电压下降期间，源端会激活一个分流电路，通过主动的总线放电使总线电压快速降低。达到额定值以后，源端会等待一段稍长的时间让总线电压稳定下来，然后再送出一个电源准备好信号。

这样的通讯方法可确保总线上的任何电源变化都落在源端和吸端的能力范围内，避免出现不可控的状况。当 Type-C 电缆的连接被断开时，总线上的电源也被关断，任何新开始的连接都会进行电缆连接检测，电压也总是处于 5V，这样就可以避免在电缆接通时有高电压从一台设备进入另一台设备。

USB PD 通讯使用的是双相标记码 (Bi-phase Mark Code, BMC)，此码是一种单线通信编码，数据 1 的传输需要有一次高/低电平之间的切换过程，数据 0 的传输则是固定的高电平或低电平。每个数据包都含有 0/1 交替的前置码、报文起始码 (Start of Packet, SOP)、报文头、信息数据字节、CRC 循环冗余编码和报文结束码 (End of Packet, EOC)，参见图 18。

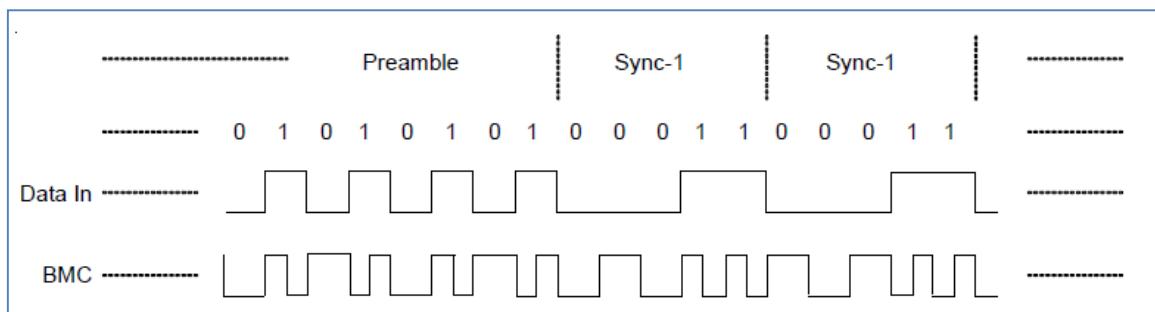


图 18

图 19 展示的是一次要求总线电压升高的 PD 通讯的波形从密集至展开的样子，从最后展开的波形中可以看出前置码的序列。

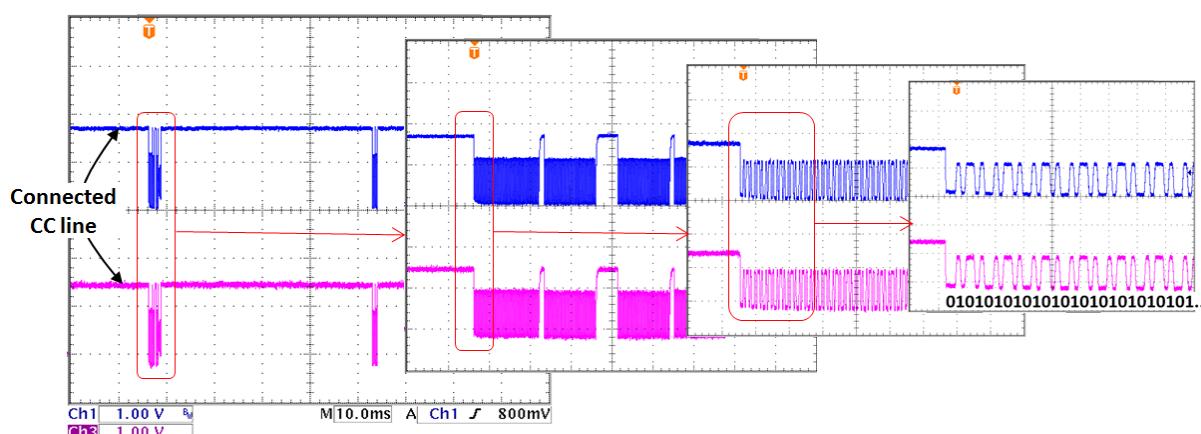


图 19

BMC 通讯数据可以用 USB PD 解码器进行解码，Ellisys 的 EX350 分析仪就是这样的设备。有了这种工具以后，PD 通讯的数据就可以被捕获下来并显示出每个数据包的意义，其中含有与时间相关的数据如总线电压值、CC 线上的波形等，参见图 20。

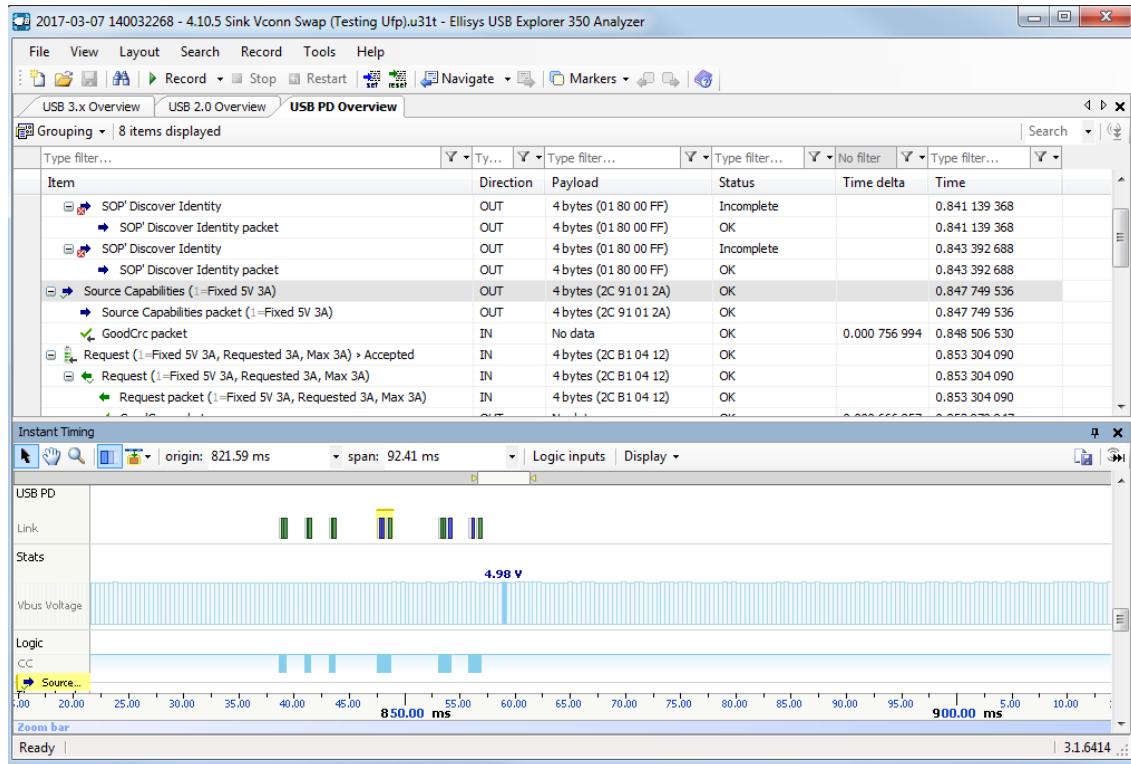


图 20

电源配置清单

USB PD 3.0 规范定义了下列电源配置清单：



图 21

有 4 个独立的电压值是预先定义好的：5V、9V、15V 和 20V。对于 5V、9V 和 15V 来说，最大的电流为 3A。在 20V 的配置中，如果电缆是普通的，最大容许的输出是 20V/3A 即 60W。假如使用了特别定制的含电子标签电缆，相应的数据可以放大到 20V/5A 即 100W。一个系统在支持最高的电压和功率等级的情况下还必须同时支持所有的较低的电压和功率等级。

含有电子标签的电缆

USB Type-C 规范定义了各种不同规格的电缆。低速的 USB 2.0 电缆没有特别的要求，只是要求其电流承载能力要达到 3A。支持超速数据传输的 USB 3.1 电缆或是电流承载能力超过 3A 的电缆必须使用电子标签进行标识。图 22 所示的电缆中含有 IC，其作用就是对电缆特性进行标识。这种具有活力的电缆也可以包含用于信号整形的 IC，它们都需要从电缆的 VCONN 端子获得电源供应。

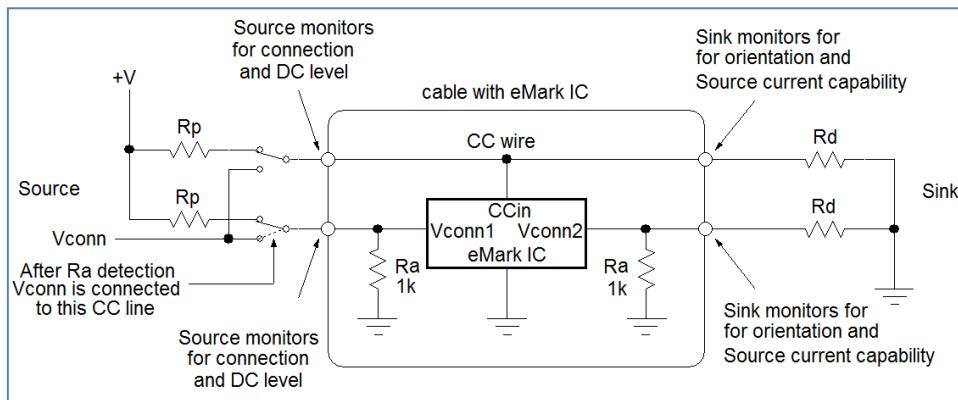


图 22

含有电子标签 IC 的电缆中的 Vconn 上都含有 $1\text{k}\Omega$ 的下拉电阻 Ra ，其值要小于典型值为 $5.1\text{k}\Omega$ 的电阻 Rd 。这样的电缆在插入时，源端都会看到 CC1 和 CC2 电压下降的情况，具体的电压水平将告诉主机哪个端子被吸端的 $5.1\text{k}\Omega$ 电阻下拉了、哪个端子被电缆的 $1\text{k}\Omega$ 电阻下拉了，因而电缆的插入方向就可以被确定下来。 Ra 的下拉作用也能让源端知道 VCONN 需要得到 5V 的电源供应，因而需要向 CC 端供电以满足电子标签的电源需求。

图 23 显示了一个测试案例，电源供应端（源端）被使用了电子标签的电缆连接到电源消耗端（吸端），其中的电缆是处于扭转的状态。

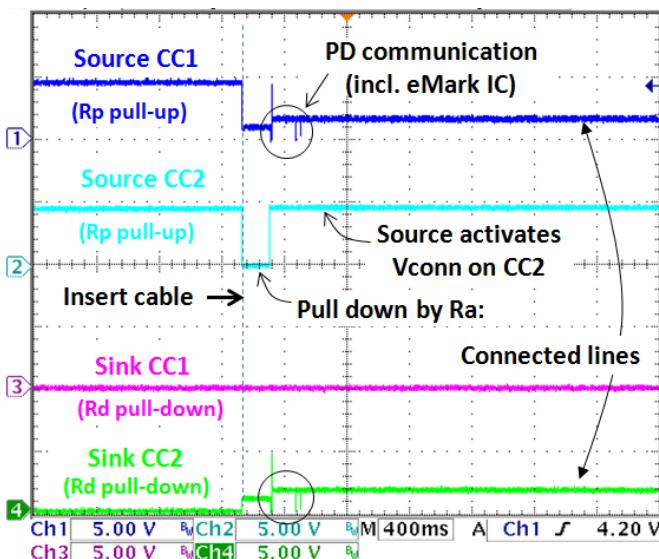


图 23

从中可以看到，当电缆接通以后，源端的一条 CC 线被来自 VCONN 端的 $1\text{k}\Omega$ 低电阻拉到了很低的电压。

源端将检测到此电压，并由此知道电缆中含有电子标签，于是就会将 5V 的 VCONN 电源接入 CC 线以实现对电缆内部电路的供电。

在其后发生的 PD 通讯中将会包含源端和电子标签之间的通讯（称为 SOP' 或 SOP''）以及源端和吸端之间的通讯（称为 SOP）。

电源的双重角色

有的 USB Type-C 设备既可做源端，又可做吸端，它们被称为支持双重角色的设备 (Dual Role for Power, DRP)。这种设备的 CC1 和 CC2 端在互连以前处于高低电平交替变换的状态，一旦连接发生，两者的 CC 端都会发生改变，如图 24 所示。

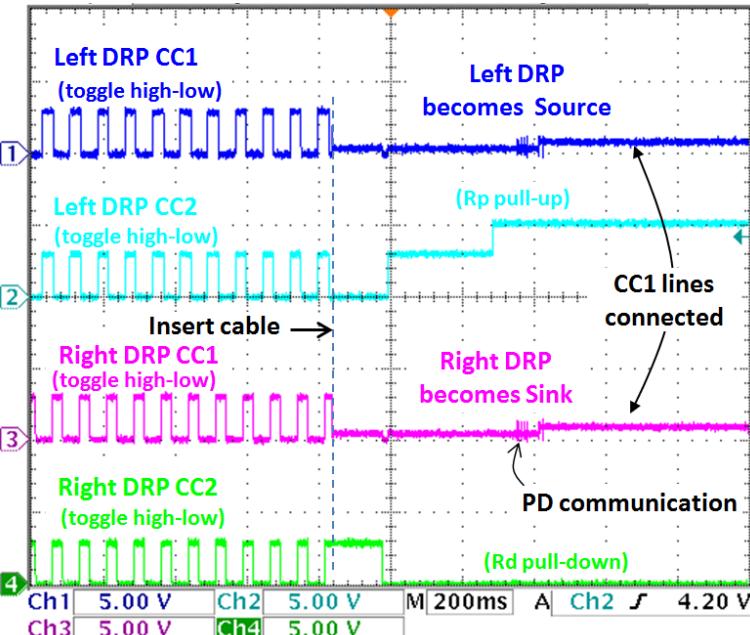


图 24

在这次连接事件中，左边的 DRP 设备选择做了源端，右边的 DRP 设备选择做了吸端。这个情形也可能反过来，除非一台 DRP 设备已经被设定为源端优先（例如它由外部电源适配器供电时），或是被设定为吸端优先（例如处于电池供电的情形）。

电源角色的转换在连接期间也是可以发生的，只要连接在一起的两台 DRP 设备中有一台设备发起了角色变换的要求就行，图 25 显示了这样的角色变换的过程。

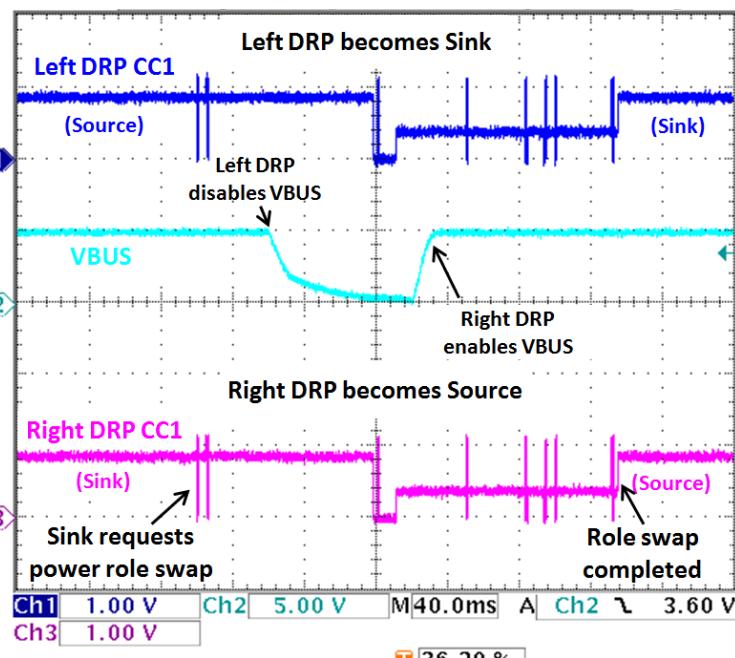


图 25

3. 立锜提供的 USB Type-C PD 方案

从 USB Type-C PD 规范被制定的时候开始，立锜就是 USB-IF 的会员，因而能随时掌握标准的发展状况。针对 USB Type-C PD 的应用，立锜已经开发了大量的创新型方案，如采用 PD 协议的电源适配器、电子标签 IC、车载充电器、用于手机等移动产品的 PD 控制器等，有些还被使用在采用最新的 USB PD 3.0 协议的直充系统中。图 26 展示的是一些评估板卡和适用于各种 USB Type-C PD 应用的开发板。

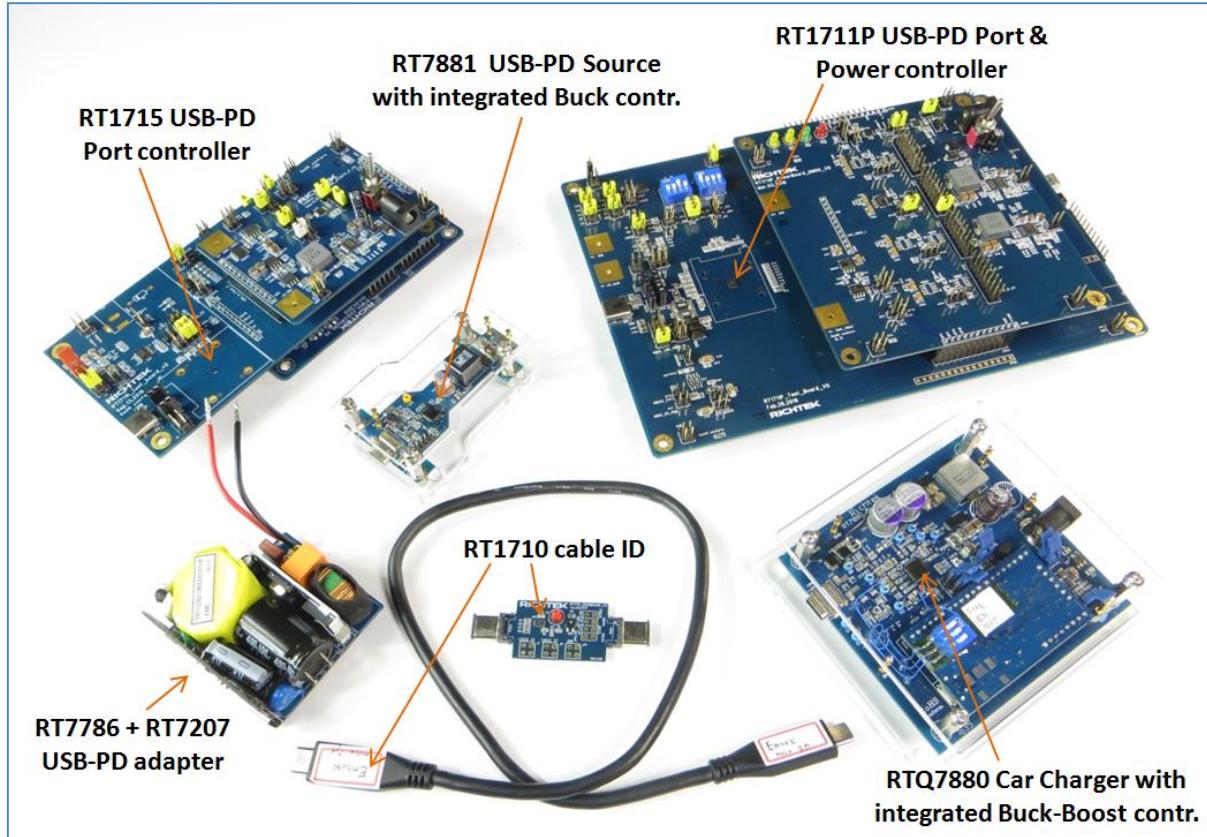


图 26

在需要使用 PD 协议的 USB Type-C 接口电源适配器中，反激式控制器 [RT7786](#) 与二次侧的 USB Type-C PD 控制器 [RT7207](#) 是一对绝配，它们的组合能输出 3V-20V 电压，内嵌的同步整流驱动器能将损耗降到最低，在大电流应用中表现良好。

USB Type-C 控制器 [RT1715](#) 体积很小 (1.38x1.38mm CSP)，能力却相当强大，可用于源端、吸端和双重角色的 PD 应用中，支持 USB PD 3.0 协议，提供 VCONN 电源，支持交替模式，智能手机、硬盘、平板电脑的需求都可满足。

[RT1711P](#) 是全功能的 USB Type-C 控制器，可用于源端、吸端和双角色 PD 应用中，包含有完整的电源路径管理能力、外部直流转换器输出电压控制能力、VBUS 放电能力和 VBUS 电流检测能力，支持 USB PD 3.0 协议、VCONN 供电、交替模式，支持几乎所有的 USB Type-C 应用。

[RTQ7880](#) 是含有 Buck-Boost 控制器的车用级 USB Type-C PD 应用的源端控制器，可在极宽的输入电压范围内工作，利用其 Buck-Boost 架构在车载电源环境下可提供 5V/3A 至 20V/5A 的输出能力，支持 USB PD 3.0 协议、VCONN 供电、交替模式和可编程的电缆压降补偿，是众多应用的优选器件。

[RTQ7881](#) 是集成了 Buck 控制器的 USB Type-C 接口 PD 协议源端控制器，具有与 [RTQ7880](#) 类似的特性，可在输入电压比所需最高输出电压高的环境下提供良好的输出性能，是众多 USB Type-C 源端应用的理想选择。

[RT1710](#) 是用于被动和主动式 USB Type-C 电缆中的电子标签 IC，支持 SOP[®]通讯，集成了 Ra，可由电缆的任意一端之 VCONN 进行供电，集成了隔离二极管、MTP 存储器，可通过 I²C 接口或 CC 通道对其进行 VDM 数据写入。

4. 使用 RT7786 和 RT7207 的 PD 电源适配器

传统的 USB 接口电源适配器只需提供 5V 输出，功率等级也很低，其设计可以说是非常简单的。采用 USB PD 协议的电源适配器就不再是老样子了，其输出电压是可变的，变化范围还很宽，还需要输出很高的功率，而常规的旅行充电器又要求具有很小的体积，因而很容易遇到发热问题。

反激控制器 [RT7786](#) 是根据 USB PD 规范的需要进行了特别优化的设计，它能提供很宽的输出电压范围，有自适应的环路增益控制系统去保证长期工作的稳定性，有自适应的过流和过压保护特性，具有很宽的 V_{dd} 工作电压范围，有足够的能力去驱动大型 MOSFET，同时兼具 30mW 的待机功耗和能够带来低 EMI 问题的智能抖频系统。

被放在二次侧的 [RT7207](#) 可对输出电压和电流进行实时的检测，再将满足输出电压控制需要的信号经过光电耦合器输送给一次侧的反激式控制器。[RT7207](#) 集成了 BMC 编码收发器，可用其内部集成的 MCU 去完成符合 USB PD 协议的通讯。它集成了电荷泵电路，使得同步整流电路的驱动器可在输出电压低于 4.5V 时仍能很好地工作，因而容许输出电压低达 3.3V（对 RT7207K 来说是 3V），容许以可编程电源（Programmable Power Supply, PPS）的方式工作以满足直充应用的需求。它内部集成的同步整流驱动器能以 DCM 或 CCM 模式工作，能在重负载下提高转换效率。[RT7207](#) 含有 OTP 存储器，它的很多参数都是可以被设定的，如过流保护、过热保护以及缆线压降补偿的参数均可设定。[RT7207](#) 也可被用于符合 BC1.2 规范的专用充电器应用中，可将 D+/D- 端子用于输出电压和电流的设定中。使用 [RT7786](#) 和 [RT7207](#) 构成的电源适配器的基本电路显示在图 27 中。

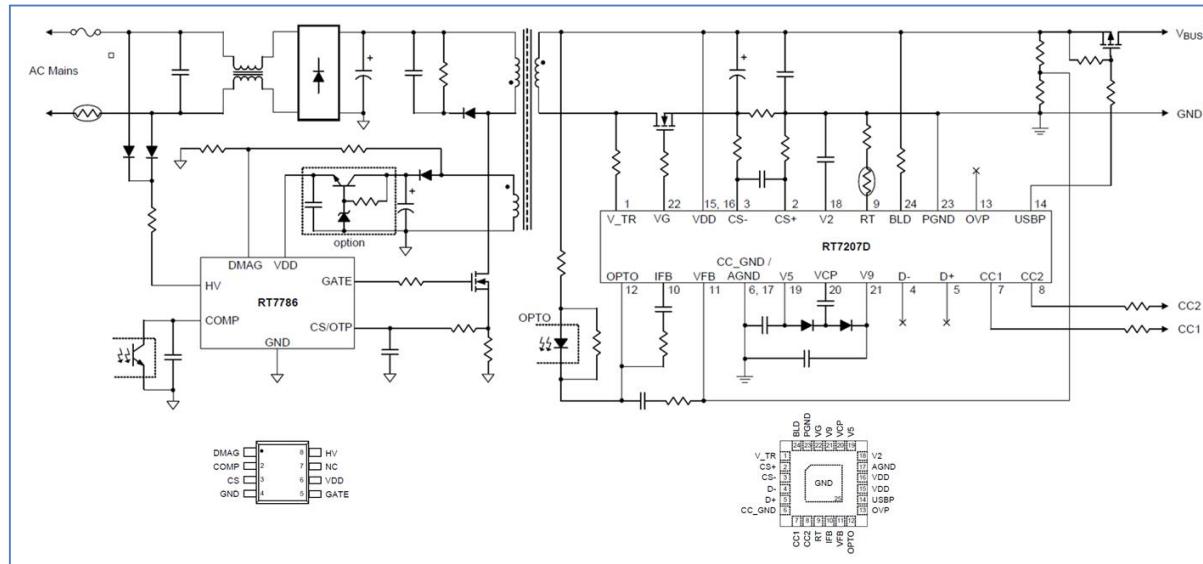


图 27

关于 CC1/CC2 耐压的说明：在 USB Type-C 接口的连接器上，CC1/CC2 与 VBUS 紧靠在一起。由于连接器引脚之间的距离非常小，电缆连接和断开的时候很容易发生 CC1/CC2 与 VBUS 短路的状况，因而可能出现在 CC1/CC2 端子上的电压就高达 20V。为了确保高可靠性，以 [RT7207](#) 为代表的所有立锜 USB PD 产品的 CC 端都具有 22V 的耐压能力。

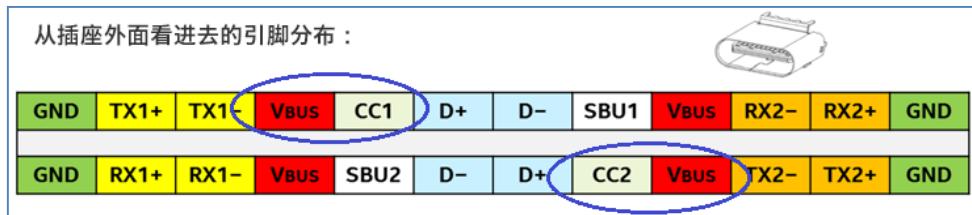


图 28

[RT7786](#) + [RT7207D](#) 构成的参考设计可以用于性能评估，图 29 展示的是一个 60W 的 USB PD 旅行充电器的参考设计，可在全电压范围内输出 5V、9V、15V 和 20V，负载能力为 3A。



图 29

此设计的外形尺寸为 53x50x23mm³，在 60W 输出时的效率超过 93%，无负载时的待机功耗低于 50mW，已经通过 USB IF 的认证测试，符合 DOE-6 和 CoC Tier-2 对电源效率的要求，具有很好的热性能。

5. USB Type-C 接口和 PD 协议在车载充电器中的应用

USB Type-C 接口车载充电器

当前，USB Type-C 接口正在向车用领域进行渗透，很多车辆开始引入 USB Type-C 接口，可以提供 5V 电压，负载能力达到 3A。对于这样的应用，标准的 USB Type-C 接口控制器加上 Buck 转换器即可满足需要，图 30 所示的就是一个单纯采用 USB Type-C 接口的车载充电器的方案原理图。

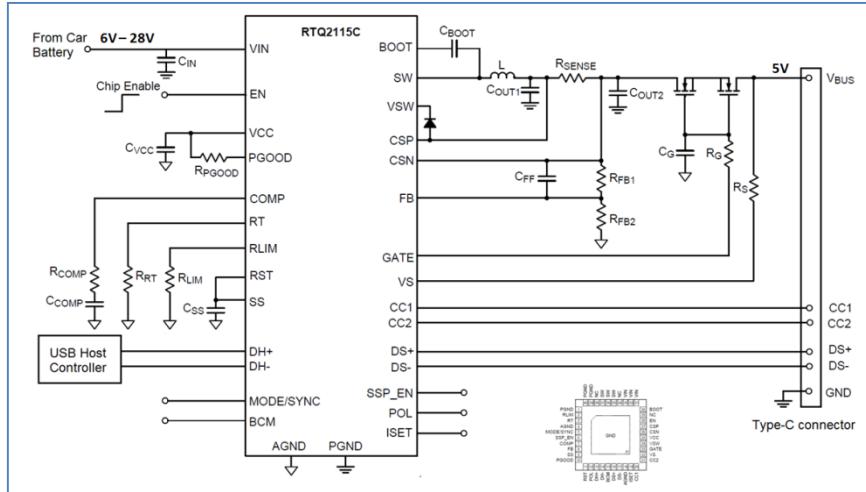


图 30

采用 USB Type-C 接口和 PD 协议的车载充电器

为了在车辆中实施 USB Type-C 接口结合 PD 协议的应用，车辆电池电压范围和需要输出的 VBUS 电压范围必须被综合考虑。假如电池电压比较高，输出只有 5V/3A 和 9V/3A 两个规格，集成了 Buck 控制器和 USB Type-C 接口 PD 协议控制器的 RT7881 就可以在此时发挥作用，其原理图如图 31 所示。

RTQ2115C 是输入电压范围为 3V-36V 的将 USB Type-C 接口控制器和 3.5A Buck 转换器集成在一起的车用级产品，专门针对下行端口的应用。它含有 CC 线的检测和电流宣示功能，能进行 VBUS 电流检测和开关控制，能为 VCONN 提供电源供应，能进行电缆方向检测，还能利用 D+/D- 进行符合 BC1.2 规范的 SDP/CDP/DCP 模式设定以及相关的检测工作。

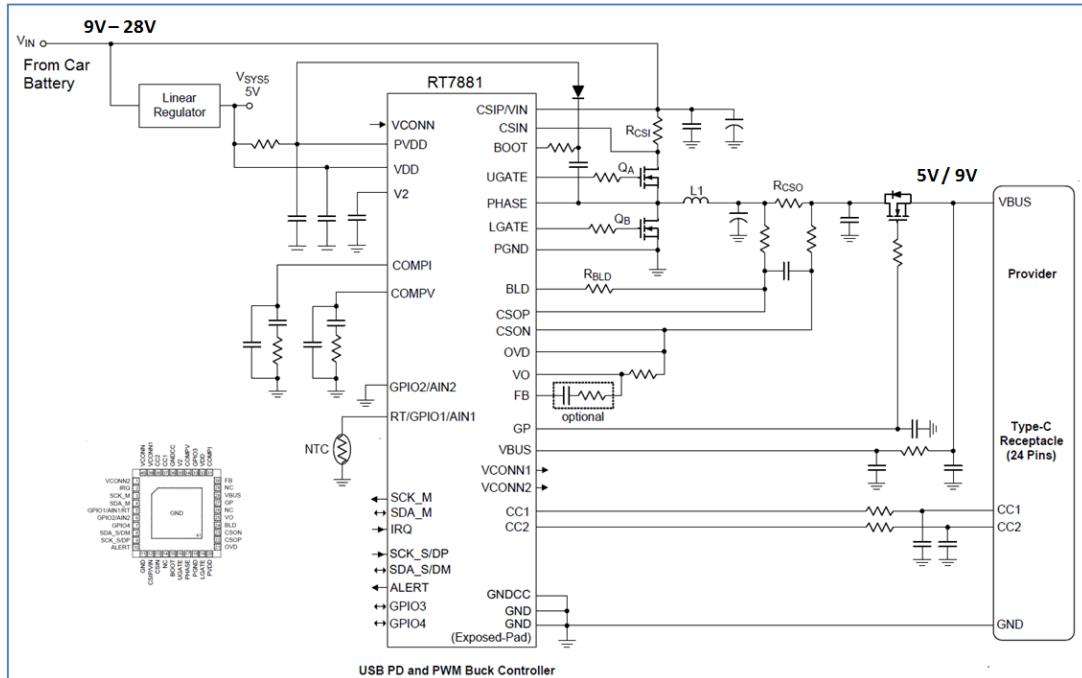


图 31

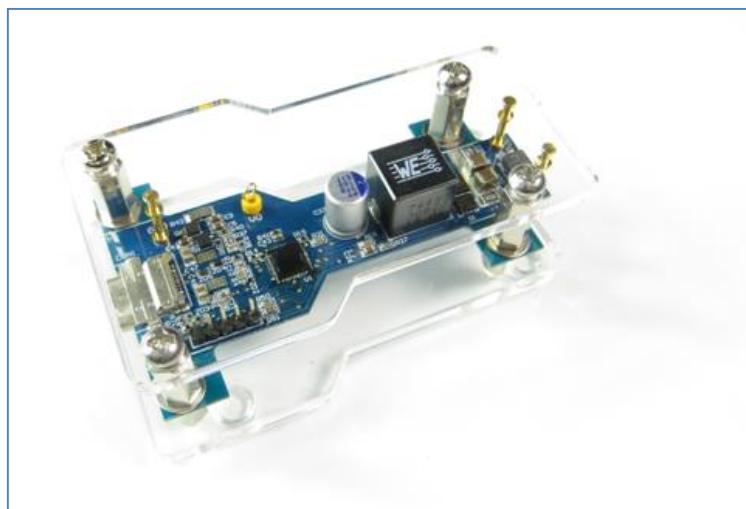


图 32

全范围输出的 USB Type-C 接口 PD 协议车载电源

如果车载电源要给出 USB PD 协议所定义的全范围输出 (5V-20V)，此时要选择的转换器架构就必须是 Buck-Boost 了，车用级产品 RTQ7880 在此时就可以派上用场，它可是将 Buck-Boost 转换器和 USB Type-C 接口 PD 协议控制器完全集成在一起的，图 33 显示的是它的应用电路图。

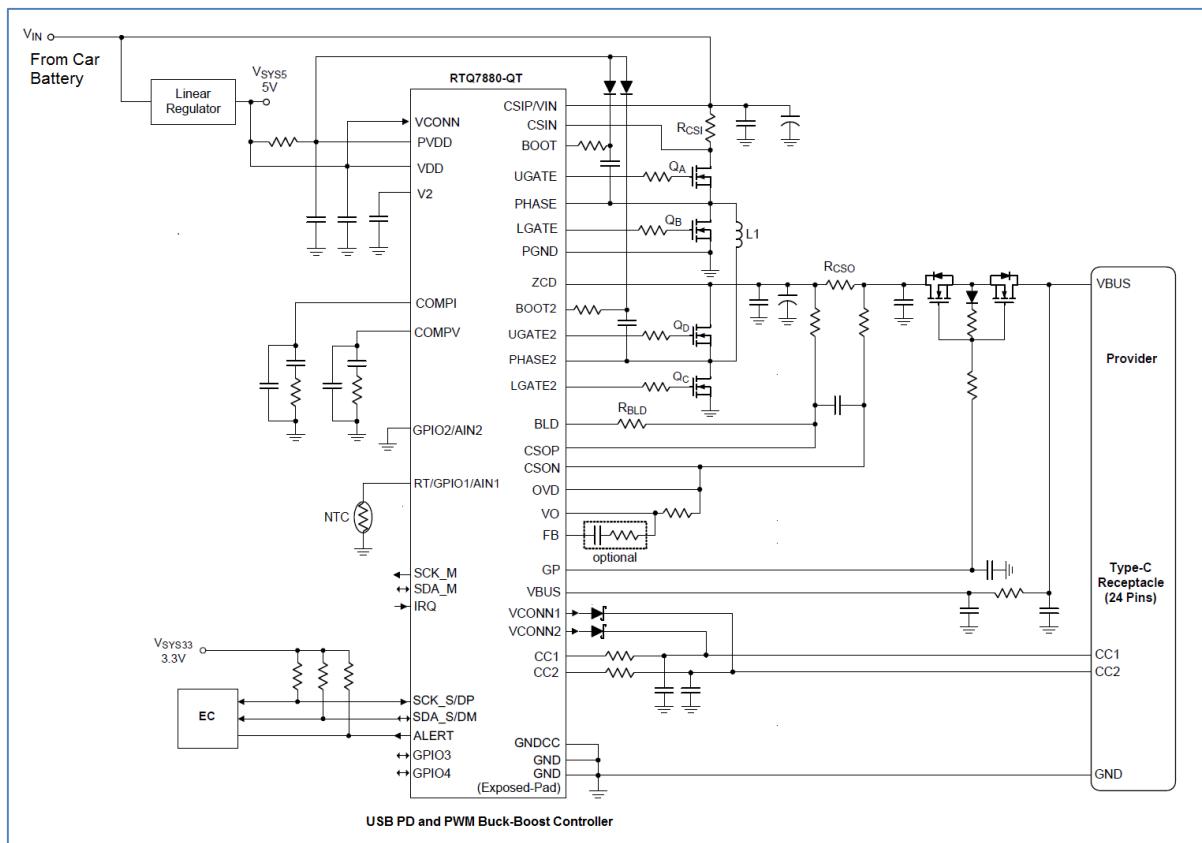


图 33

由此构成的 Buck-Boost 转换器包含了全桥驱动器，当它运作于 Buck 模式时， Q_A 和 Q_B 将进行开关动作， Q_D 总是处于导通状态， Q_C 总是处于断开状态；当它运作于 Boost 模式时， Q_A 恒时导通， Q_B 恒时断开， Q_C 和 Q_D 进行开关动作；而这两种模式之间的切换是无缝衔接的，对运作的影响非常小。

与 RT7881 类似，RTQ7880 的核心也是 ARM Cortex-M0 处理器，所有的运作都由它进行控制。

RTQ7880 之 Buck-Boost 控制器是完全可配置的，其工作频率可调，电流可检测，可以运行在 PWM 或 PSM 模式，输出电压可以 12mV 的级差进行调节，容许对缆线电阻造成的压降进行补偿，完全支持可编程电源 (Programmable Power Supply, PPS) 功能。RTQ7880 使用电荷泵对 MOSFET 的驱动进行供电，它的 CC1/CC2 端子具有超过 20V 的耐压能力，可对 VCONN 提供电源并进行过流保护，容许负载高达 100W (20V/5A) 的输出。



RTQ7880 既可以制作单一功能的充电器，也可以和含有路由开关的通讯器件一起构成多功能的系统。

图 34 显示的 RTQ7880 评估板具有提供 60W (20V/3A) 输出的能力，它的上面那块板是被称为 Richtek Bridge Board 的通讯板，可让它和 PC 连接起来以完成状态获取和协议控制的工作。

RTQ7880 的运行固件位于其内置的 MTP 存储器中，你可以通过 Richtek Bridge Board 对它进行刷新，也可在应用现场通过 USB Type-C 接口对它进行更新。

图 34

从 RTQ7880 的基本特性可以推知，除了作为车载充电器以外，它其实也可以被使用在诸如采用 USB PD 协议的显示器和集线器等产品中，它内含的 Buck-Boost 控制器使得它几乎可从任意地方获得电源并向其负载供电，因而其应用是不受限制的。

6. 支持 USB Type-C/PD 应用的双角色控制器

在早期的 USB 标准中有 USB On-The-Go (OTG) 可使 USB 接口既能作为受电端、又能作为供电端来使用，到了 USB Type-C 阶段，电源双角色 (Dual Role for Power, DRP) 控制器可使一个 USB Type-C 接口既能被配置为源端、也能被配置为吸端，而且还能根据需要对电压转换器的输出电压进行调节。在立锜科技的 USB Type-C/PD 控制器中，有很多是具有 DRP 功能的。

型号	支持 PD 版本	负载能力	电池失效支持	CC 过压保护	电源路径控制	VCONN 支持	封装
RT1711H	USB-PD2.0	100W	Yes	Yes	No	Yes	CSP-9B 1.38x1.34
RT1716	USB-PD3.0	100W	Yes	Yes	No	No	CSP-8B 1.38x1.34
RT1715	USB-PD3.0	100W	Yes	Yes	No	Yes	CSP-9B 1.38x1.34
RT1711P	USB-PD3.0	100W	Yes	Yes	Yes	Yes	QFN-24L 3.5x3.5

所有这些器件都是包含 Rp/Rd 电阻在内的全功能 USB Type-C 收发器，它们需要与应用系统的 MCU 通讯以完成 USB Type-C 接口控制器的操控设置，通讯的接口是 I²C 总线。图 35 显示了两种典型的在手机中可用的 DRP 方案的设计方法。

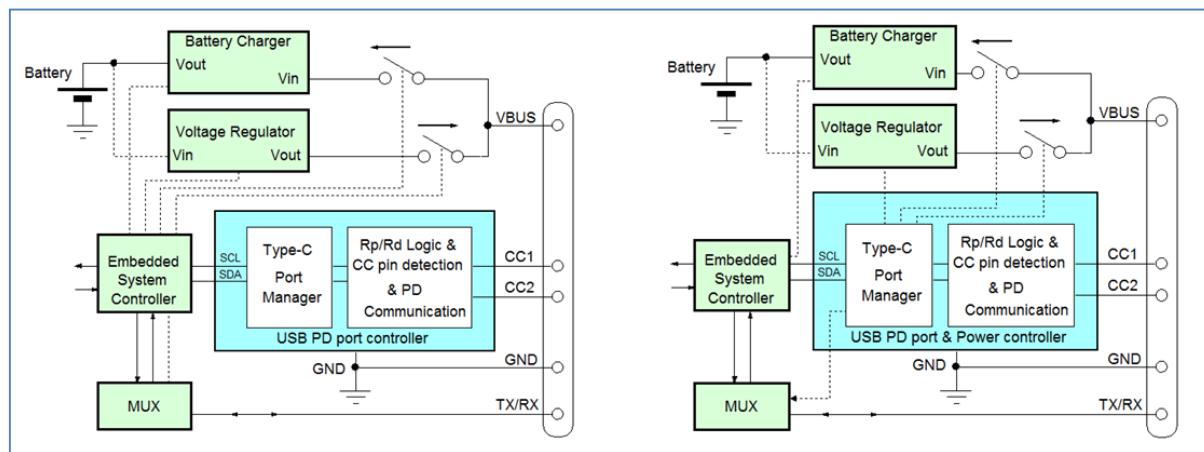


图 35

图 35 左侧图形显示的 DRP 解决方案使用了一个 USB Type-C/PD 端口控制器，系统控制器承担了所有的 USB type-C 端口的检测、通讯工作，相关的信息存储也由它负责。系统控制器需要读取寄存器参数并做出相应的决定，根据源端或是吸端的角色作用对 MOSFET 的动作进行控制，调整电压转换器的电压。在这样的案例中，[RT1711H](#)、[RT1715](#)、[RT1716](#) 是可供选择的型号。

图 35 右侧的 DRP 方案使用了 USB PD 端口/电源控制器，它含有外部 MOSFET 的控制功能，可对电压转换器的输出电压进行调节，还有数据切换开关的控制能力。这样的系统的 MCU 仍然要根据角色的需要读取寄存器参数并做出决定，但一切都是通过发送命令给 PD 端口/电源控制器来间接完成的，VBUS 总线上的保护功能如过压保护、过流保护等都能在没有 MCU 介入的情况下被立即执行。适合这种需要的 USB PD 端口控制器有 [RT1711P](#)。

由于许多 DRP 系统都含有电池，这些系统必须能够在电池已经失效或是被深度放电的情形下还能进入工作状态。上面提及的这些控制器都具有电池失效支持功能，意思是只要电缆连接上就能让电阻 Rp 处于有效状态，可让源端的 CC 线被拉成低电平，因而可以激活 VBUS 使之得到电源供应，而作为吸端的它们的内嵌 MCU 就能够由此得到电源供应，使它们能够在没有电池或是电池需要充电的情况下就可以进入工作状态并对电池进行充电。

图 36 示范的是在智能手机中使用 USB Type-C 接口 PD 协议控制器 [RT1715](#) 形成的 USB Type-C 接口 DRP 方案，[RT1715](#) 在其中完成 CC 检测、通讯等任务，还要为电缆中的电子标签提供 VCONN 供应。

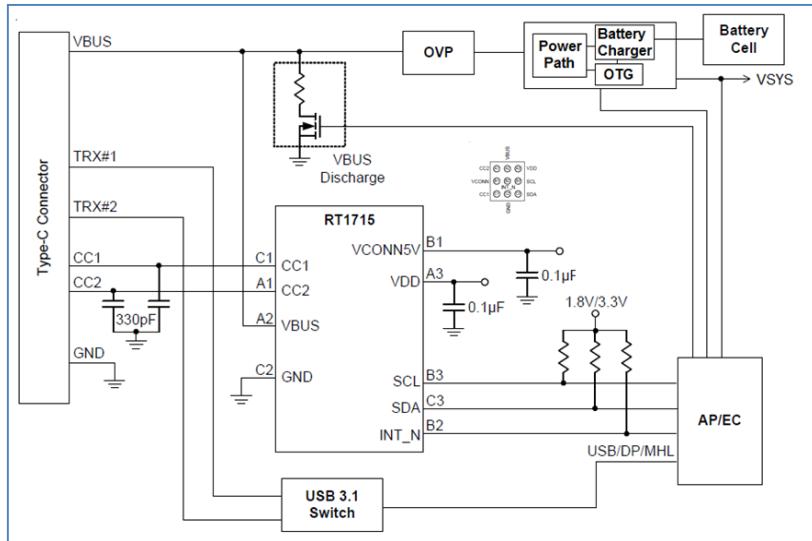


图 36

为提高开发者的工作效率，立锜可向开发者提供 [RT1711H](#)、[RT1715](#) 和 [RT1716](#) 的评估板。

图 37 是 [RT1715](#) 评估板的照片，它包含有嵌入式控制器、电压调节器和很多用于硬件配置的开关，另有一个采用图形化接口的工具可用于读取 USB Type-C 端口的状态，设定电源角色，选择不同的电源配置方案。

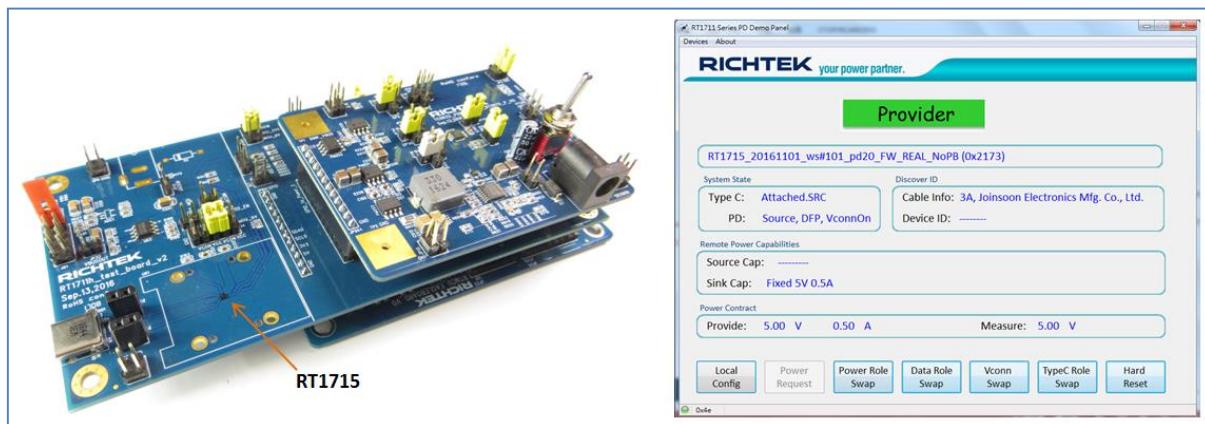


图 37

在此方案中，VBUS 的电源控制由系统应用处理器完成，电池充电管理则使用类似 [RT9466](#) 这样的器件。

系统应用处理器需要读取 [RT1715](#) 的寄存器数据并决定电源角色，在吸端模式下设定控制电池的充电工作，在源端模式下启用 OTG 模式对外供电，电池充电器的电源路径管理功能被用作 VBUS 的控制开关。

RT1711P 是全功能的 USB Type-C 接口控制器，可用于吸端、源端和双角色的端口应用中。在图 38 所示的 RT1711P 的 DRP 应用中，完成双重角色所需要的路径控制开关、对外直流转换器的输出电压控制、对 VBUS 进行过压检测和过流检测及放电电路均包含在其中，可支持 USB PD3.0 协议、VCONN 供电和替换模式应用。由于功能全面，RT1711P 可满足几乎所有类型 USB Type-C 接口应用的需要，可用于智能手机、硬盘、监视器、笔记本电脑、车载充电器等各式产品中。

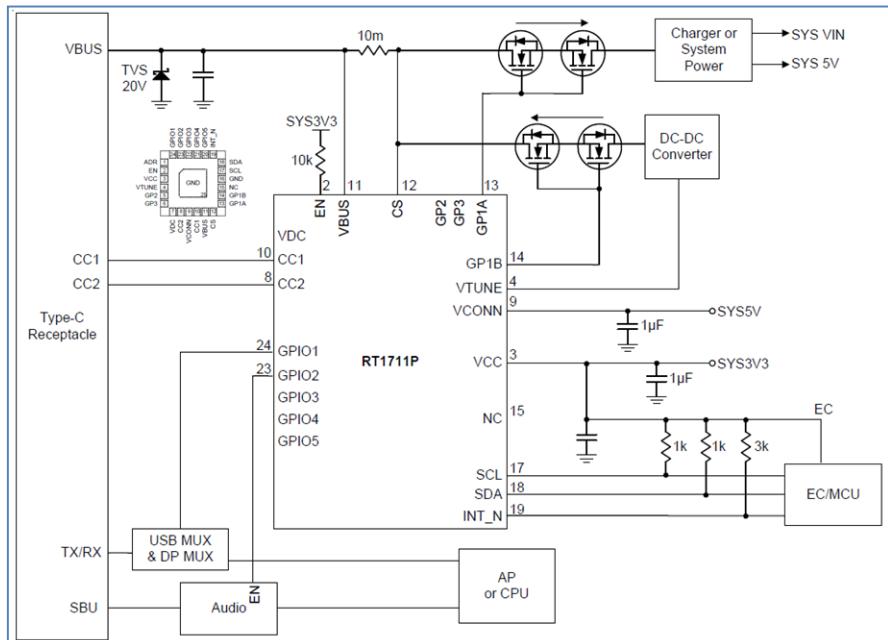


图 38

图 39 展示的是 RT1711P 评估板的照片，其上含有微处理器、电压转换器和完成各种配置的开关，可输出的电源范围为 5V/3A-20V/3A。利用图形化的软件工具可经由板上的微处理器读取 RT1711P 的内部寄存器数据以了解 USB Type-C 端口的状态，设定电源角色，设定各种电源配置信息。

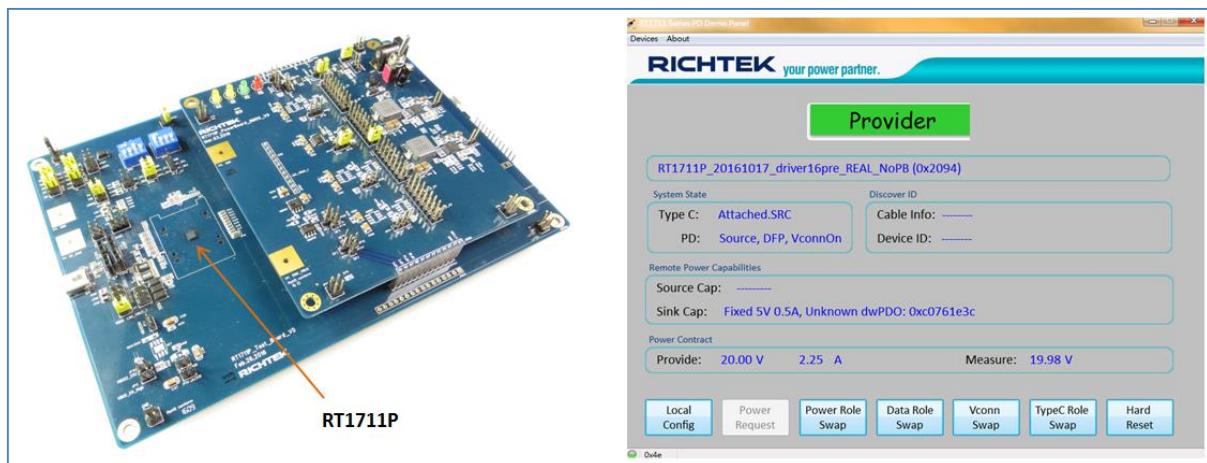


图 39

7. USB Type-C 接口电缆中的电子标签

支持 USB 3.1 的超速数据传输或是电流承载能力超过 3A 的 USB Type-C 电缆必须被电子标注，这意思是说该电缆的插头里将包含一颗小型的 IC，其中含有该电缆的特性、数据传输的性能、供应商的标识码等等，它将由源端的 VCONN 供电，并通过 CC 传输数据。电子标签 IC 的内部含有一只 $1\text{k}\Omega$ 的下拉电阻 Ra ，可将 VCONN 拉低使源端知道该电缆中含有电子标签 IC。当电缆连通以后，BMC 通讯就会在源端和电子标签 IC 之间进行。

[RT1710](#) 是为了给含有电子标签的电缆提供一个灵活的方案而特别设计的，含有两个电源输入端 VCON1 和 VCON2 及其间的隔离二极管，嵌入了 Rd 电阻，使得它可从电缆的任意一端获得电源供应，如图 40 所示。[RT1710](#) 支持 USB 电源传输协议中的 Structured VDM Discover Identity 命令以完成 SOP' 通讯，完全符合 USB-IF 所定义的规范。它在进行 BMC 通讯时的信号变化速率是受控的，发生 EMI 问题的几率很小。

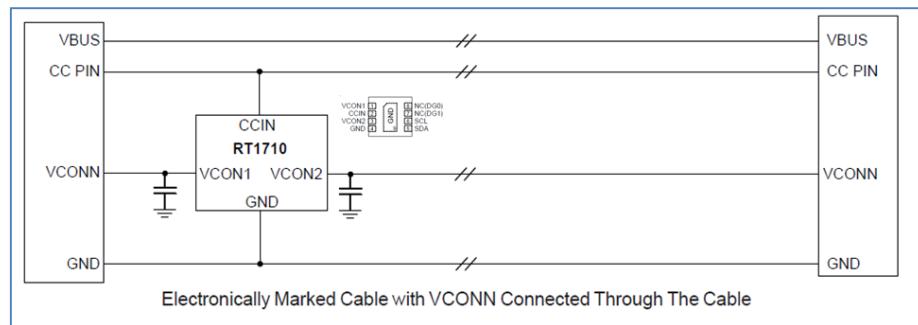


图 40

虽然大多数电缆都会像图 40 所示的那样使用一颗电子标签 IC，但某些电缆制造商希望放入两颗 IC，即两个插头上都会放入，这样就可以在电缆中少使用一条线，如图 41 所示，这样就让两颗 IC 都需要从相应的插头上获得 VCONN 的供电。由于只有源端才会向电缆供应 VCONN，因而只有一颗 IC 会进入工作状态。

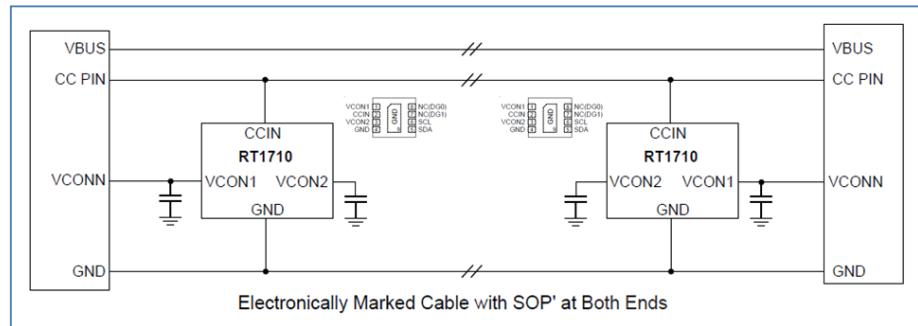


图 41

[RT1710](#) 使用内部集成的多次可编程 (Multi-Time Programmable, MTP) 存储器存储 VDM 数据，用户可以使用立锜提供的编程工具写入数据，图 42 是 [RT1710](#) 评估板和编程工具的照片。

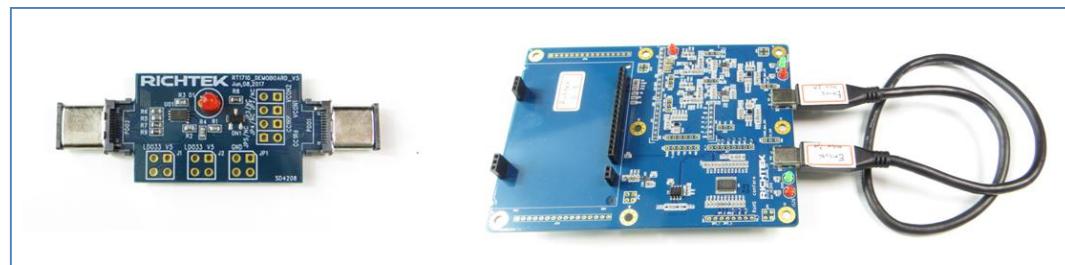


图 42

在生产和测试过程中，用户可以使用立锜提供的 [RT1710](#) 生产测试工具完成数据写入工作。该测试工具含有 LCD 显示屏，可以通过 PC 的 USB 端口对它进行控制。

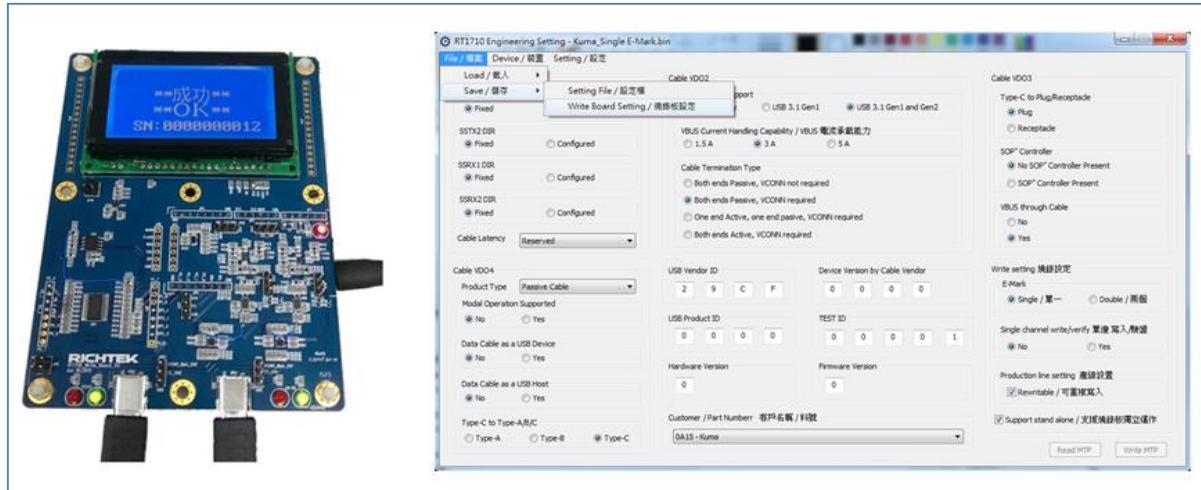


图 43

该测试工具有两个 USB Type-C 端口，可对单电子标签或双电子标签的电缆进行数据写入和测试。该工具对每个用户来说都是独一无二的，其中含有特定的供应商标识。VDM 数据和电缆序号可在每个编程周期得到自动更新，序号将会显示在 LCD 屏幕上，用于品质检验的通过或失败的信息也会显示出来。

8. 总结

通过介绍 USB Type-C 标准，我们提到了很多全新的功能，但最重要的还是要理解 USB Type-C 基本的运行法则，了解电源传输协议和它新增的能力，这样才能确定我们在应用中能提出什么样的需求。

针对众多的 [USB Type-C 和 PD 的应用](#)，立锜持续不断地扩展其电源管理解决方案，已经在 USB Type-C 电源适配器、车载充电器、显示器、移动电源、电缆标签、双角色应用等方面积累了很多经验，可为广大的用户提供多种多样的服务。

相关资源

[立锜科技电子报](#)

[订阅立锜科技电子报](#)

Richtek Technology Corporation

14F, No. 8, Tai Yuen 1st Street, Chupei City

Hsinchu, Taiwan, R.O.C.

Tel: 886-3-5526789

Richtek products are sold by description only. Richtek reserves the right to change the circuitry and/or specifications without notice at any time. Customers should obtain the latest relevant information and data sheets before placing orders and should verify that such information is current and complete. Richtek cannot assume responsibility for use of any circuitry other than circuitry entirely embodied in a Richtek product. Information furnished by Richtek is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by Richtek or its subsidiaries for its use; nor for any infringements of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of Richtek or its subsidiaries.