



TEXAS  
INSTRUMENTS

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

BQ25756 ACTIVE  
Stand-alone or iC-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

電子書

# USB Type-C® 工程師指南

USB Type-C 和 USB 電力傳輸的技術內容合集

## 簡介

USB Type-C® (USB-C®) 是業界標準連接器，可在單一介面上傳輸資料和電力，在個人電子產品、汽車、工業和企業系統中廣泛應用。USB 電力輸送 (PD) 是使用 USB-C 連接器來提升 USB-C 介面功能的標準。有了 USB 電力輸送，現在您就可以同時傳輸高達 240 W 的功率和高達 80 Gbps 的資料。您也可實作如 DisplayPort™ 和 Thunderbolt® 等預先定義的替代模式，以支援視訊和其他進階功能。本電子書介紹了 USB Type-C 和 USB 電力輸送，探討各種應用及其資料和電源需求，並協助您了解執行 USB Type-C 和 USB 電力輸送的整個系統視圖。

## 目錄

簡介.....	2
<b>USB Type-C® 基礎知識.....</b>	<b>4</b>
摘要.....	5
USB-C 資料速度與功率位準.....	5
資料與電源角色.....	5
USB-C 針腳配置和可逆性.....	6
USB-C 纜線偵測和方向判定.....	8
何時需要使用 USB PD 控制器？.....	8
<b>USB Type-C® 的歷史.....</b>	<b>9</b>
摘要.....	10
USB 連接器基礎知識.....	10
USB 和 USB PD 通訊協定的歷史.....	11
USB-C 與 USB PD 的比較.....	14
USB PD 3.1 規格演進.....	15
<b>USB Type-C® 及 USB PB 規範簡介與概覽.....</b>	<b>16</b>
摘要.....	17
USB-C 連線.....	17
VCONN 和訊息類型.....	18
透過 CC 線路協商 USB PD 供電.....	20
資料角色交換.....	22
電源角色切換.....	23
USB PD 替代模式簡介.....	25
EPR 簡介.....	26
<b>透過 USB Type-C® 傳輸 USB 訊號.....</b>	<b>27</b>
簡介.....	28
透過 Type-C 傳送 USB 2.0 訊號.....	28
低速和全速.....	28
高速.....	28
低速、全速和高速資料速率.....	29
USB 2.0 訊號完整性.....	29
透過 USB-C 傳送 SuperSpeed 訊號.....	29
SuperSpeed 啟動速度協商.....	30
SuperSpeed 訊號完整性挑戰.....	30
<b>USB Type-C® 的訊號多工處理.....</b>	<b>31</b>
USB-C USB 2.0.....	32
USB-C USB 3.....	32
USB PD DisplayPort™ 替代模式多工處理.....	32
DisplayPort 源極裝置 (DFP_D) 針腳分配 C.....	33
DisplayPort 源極裝置 (DFP_D) 針腳分配 D.....	34
DisplayPort 源極裝置 (DFP_D) 針腳分配 E.....	34
DisplayPort 汲極裝置 (UFP_D) 針腳分配 C.....	34
DisplayPort 汲極裝置 (UFP_D) 針腳分配 D.....	35
DisplayPort 汲極裝置 (UFP_D) 針腳分配 E.....	35
<b>USB4.....</b>	<b>37</b>
USB4 概覽.....	38
USB4 探索與進入流程.....	38
USB4 系統.....	38
邊帶通訊.....	40

- USB4 線路和資料速率..... 41
- 損失預算..... 41
- 透過 SBU1 和 SBU2 同時支援 DisplayPort 替代模式與 USB4..... 42
- eUSB2 簡介..... 43**
  - 摘要..... 44
  - eUSB2 概覽..... 44
  - eUSB2 模式..... 44
  - 其他功能..... 45
- 延伸功率範圍 (EPR)..... 47**
  - 摘要..... 48
  - 何謂 EPR? ..... 48
  - 技術規格..... 48
  - 安全性考量 >100W..... 49
  - 處理與 TI PD 控制器的電源協商..... 50
  - 結論..... 51
- USB Type-C® 及 USB 電力輸送常見使用案例和方塊圖..... 52**
  - 5V USB-C 僅供電埠 (無 USB PD)..... 53
  - 基本功能模組..... 53
  - 具備 USB 3.0 資料傳輸功能的 5V USB-C 僅供電連接埠 (無 USB PD)..... 53
  - 5V USB-C 僅受電連接埠 (無 USB PD)..... 54
  - 5V USB-C DRP (無 USB PD)..... 54
  - 具備 USB PD 的 20V USB-C 僅供電連接埠..... 55
  - 具備 USB PD 的 20V USB-C 僅受電連接埠..... 56
  - 具 USB PD 和 DisplayPort™ 替代模式的 5V 源極、20V 汲極 USB-C 連接埠..... 57
  - 具備 USB PD 和電池充電器的 20V USB-C DRP..... 58
- 終端設備專屬方塊圖..... 60**
  - 摘要..... 61
  - 筆記型電腦和工業用電腦..... 61
  - 擴充站..... 61
  - Bluetooth® 喇叭..... 62
  - Wi-Fi® 路由器和智慧型喇叭..... 63
  - 電源工具..... 63
- TI PD 控制器的優點..... 65**
  - 摘要..... 66
  - 解決常見設計難題的 TI 解決方案..... 66
  - 使用 TI PD 控制器的其他優點..... 69

## USB Type-C® 基礎知識

- 摘要
- USB-C 資料速度與功率位準
- 資料與電源角色
- USB-C 針腳配置和可逆性
- USB-C 纜線偵測和方向判定
- 何時需要使用 USB PD 控制器？



## 摘要

作者：Adam McGaffin、Nate Enos 和 Brian Gosselin

USB Type-C® (USB-C®) 是業界標準連接器，可在單一介面上傳輸資料和電力，在個人電子產品、汽車、工業和企業系統中廣泛應用。USB 電力輸送 (PD) 是使用 USB-C 連接器來提升 USB-C 介面功能的標準。有了 USB PD，現在您就可同時傳輸高達 240 W 的功率和高達 80Gbps 的資料。您也可實作如 DisplayPort™ 和 Thunderbolt® 等預先定義的替代模式，以支援視訊和其他進階功能。在本章中，我們將逐步說明 USB-C 的基本知識，為本電子書中更進階的主題奠定基礎。

## USB-C 資料速度與功率位準

**表 1** 列出了每個 USB 資料傳輸相關規範的最大傳輸速率。該標準始於 USB 1.0 及 USB 1.1，分別支援 1.5Mbps (低速) 及 12Mbps (全速)，但後來隨著 USB 3.1 Gen 2 的推出，進化到支援 10Gbps (SuperSpeed+)。

表 1. USB 規範和最大電壓、電流和功率

規範	資料速率名稱	最大傳輸速率
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 電源從 USB 2.0 到 USB PD 3.0 的演進情形。整體趨勢是持續提升最大功率，以滿足平台與裝置日益增長的需求。在沒有 USB PD 的情況下，僅使用 USB-C 即可支援 5V、3A (15W) 的功率。然而有了 USB PD 技術，最高可在 USB-C 生態系統中支援 48V、5A (240W) 的功率輸送。

表 2. USB-C 和 USB PD 功率位準

規範	最大電壓	最大電流	最高功率
USB 2.0	5V	500 mA	2.5 W
USB 3.0 和 USB 3.1	5V	900 mA	4.5 W
USB 電池充電 1.2	5V	1.5 A	7.5 W
USB-C 1.2	5V	3 A	15 W
USB PD 3.0	20V	5 A	100 W
USB PD 3.1	48V	5 A	240 W

## 資料與電源角色

USB 連線有三種類型的資料流：

- **下行埠 (DFP)** 會將資料往下游傳送。這通常是裝置連接至主機或集線器的連接埠。DFP 將為 VBUS 提供電力 (主機和裝置間的電源路徑)，也可以為 VCONN 提供電力 (將電源輸送至電子標記纜線)。擴充站就是可能包含 DFP 的應用範例。
- **上行埠 (UFP)** 連接到集線器的主機或 DFP，用於接收來自裝置或集線器的資料。這些連接埠通常會汲取 VBUS 的電力。監視器就是可能包含 UFP 的應用範例。
- **雙重用途資料 (DRD)** 連接埠可充當 DFP (主機) 或 UFP (裝置)。連線完成時，連接埠的電力角色會決定其初始角色。供電埠扮演 DFP 的資料角色，而受電埠則扮演 UFP 的資料角色。然而，透過 USB PD 的資料角色交換功能，即可動態更改連接埠的資料角色。可能包含 DRD 連接埠的應用範例包括筆記型電腦，平板電腦和智慧型手機。

USB 連線有三種類型的電源流：

- **汲極**是連接時會消耗 VBUS 電力的連接埠。汲極通常是裝置，可能包括 USB 供電鍵盤等 USB 週邊裝置，或耳機等消費性產品。
- **源極**是連接時透過 VBUS 提供電力的連接埠。常見的源極是主機或集線器 DFP。源極應用的範例之一是 USB-C 壁掛式充電器。
- **雙角色電源 (DRP)** 連接埠可充當汲極或源極，並可在這兩種狀態之間交替使用。若 DRP 的初始角色為源極，則連接埠將扮演 DFP 的資料角色。反之，當 DRP 的初始角色是汲極時，則連接埠將扮演 UFP 的資料角色。但 USB PD 的電源角色交換功能可以動態變更 DRP 的電源角色。例如，筆記型電腦可能配備雙角色電源埠 (DRP)，該連接埠可以接收電力為筆記型電腦的電池充電，同時也可以提供電力為外部配件充電。

此外，DRP 還有兩種特殊的子類別：

- 供電裝置可以供應電力，但無法當成 DFP 使用。此子類別的範例之一是相容於 USB-C 和 USB PD 的顯示器，可以從筆記型電腦的 DFP 接收資料，同時為筆記型電腦充電。
- 受電主機可以消耗電力，但不能充當 UFP。集線器的 DFP 即是一個例子，向配件傳送資料的同時由該配件供電。

## USB-C 針腳配置和可逆性

相比於 USB Type-A 和 Type-B 連接器相比，USB-C 連接器新增了多個針腳。這些針腳有助於實現 USB-C 的功能，如更高功率、替代模式和可逆性。**圖 1** 展示了針腳配置。

**圖 1** 從左到右顯示了：

- GND：訊號的傳回路徑。
- TX 和 RX：USB 3.1 資料的 SuperSpeed 雙絞線 (5Gbps 至 10Gbps)。
- VBUS：主系統匯流排 (5V 至 48V)。
- CC1 及 CC2：用於纜線偵測、方向辨識和電流廣告的 CC 線路。在 USB PD 中，CC 線路還可以用於傳輸更高的功率位準和替代模式。請注意，其中一條 CC 線路可能成為 VCONN。
- SBU1 和 SBU2：這些是低速線路，僅用於替代模式和配件模式。例如，使用 DisplayPort 時，AUX+ 和 AUX- 會透過 SBU 線傳輸。在音訊轉接器配件模式下，這些線路用於麥克風輸入和類比 GND。
- D+ 和 D-：用於 USB 2.0 資料傳輸的高速雙絞線 (最高可達 480Mbps)。



**圖 1.** USB-C 插座針腳配置

USB-C 連接器的一個新特點是針腳幾乎對稱 (垂直和水平均對稱)。這就是連接器具有可逆性的原因。遺憾的是，這種可逆性無法被動實現，因此需要額外的電子裝置。**圖 2** 說明了 USB-C 插座 (上) 與 USB-C 插頭 (下) 相對位置的翻轉方式。

- GND 和 VBUS 線路仍處於相同位置。
- D+ 和 D- 對方向相同；但是插頭僅包含一對 D+ 和 D- 雙絞線。USB-C 規範允許在插座側將 D+ 和 D- 線路進行短路連接 (D+ 連至 D+、D- 連至 D-)。不論纜線方向為何，實體層 (PHY) 都可以識別纜線中的 D+ 和 D- 對。
- CC1 和 CC2 線會翻轉並用於確定纜線方向。纜線方向決定哪條 CC 線被連接，哪條 CC 線則保持未關閉。

- TX 和 RX 對也會翻轉。解決這個問題的方式稍顯複雜。與 D+ 和 D- 線不同，此處不能簡單地將公共線短接在一起，因為這樣會產生短軸。在 USB 2.0 的速率下，短軸是可以接受的，但在 USB 3.1 的速率下，短軸則會嚴重降低訊號完整性。為了避免出現這種情況，有以下兩種方法：
  - 使用兩個 PHY 並配合線纜方向偵測來確定使用哪一個 PHY。
  - 使用單一 PHY 和 SuperSpeed 多工器，根據已知的纜線方向將正確的 SuperSpeed 線路切換至 PHY。這通常是較為經濟實惠的解決方案。
- SBU 線路也會發生翻轉；但是，這通常在替代模式 PHY 中處理 (請記住，這些是低速線路)。

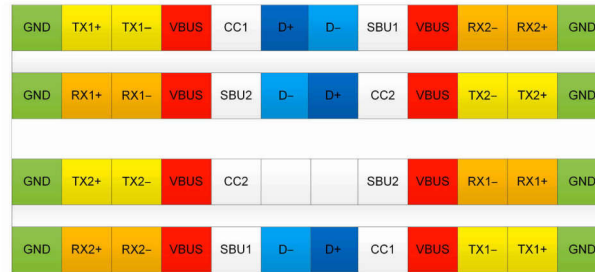


圖 2. USB-C 針腳配置：插座 (上)；插頭 (下)

## USB-C 纜線偵測和方向判定

USB-C 規範中引入的配置通道 (CC) 邏輯模組能夠決定纜線偵測、纜線方向和載流能力。讓我們定義以下術語：

- 當兩條 CC 線路之一下拉時，就會發生**纜線檢測** (請參閱圖 3)。DFP 的兩個 CC 接腳皆會隨電阻器  $R_p$  上拉，UFP 的兩個 CC 接腳則隨電阻器  $R_d$  下拉。DFP 處理器偵測到其中一條 CC 線路被下拉後，就會知道已建立連線。
- 纜線方向**取決於下拉的 CC 線路 (如果 CC1 下拉，纜線不會翻轉；如果 CC2 下拉，纜線就會翻轉)。對於非活動纜線，剩餘的 CC 線路會保持開路；對於活動電纜，剩餘的 CC 線路將隨  $R_a$  一起下拉。
- $R_p$  的值決定了**載流能力**。USB-C 原生支援 1.5A 或 3A。DFP 可以透過特定值上拉電阻器來宣告其電流承載能力。UFP 具有固定值的下拉電阻 ( $R_d$ )，因此在連接時會與  $R_p$  形成分壓器。透過感測分壓器中心分接頭的電壓，UFP 可以偵測 DFP 宣告的電流。

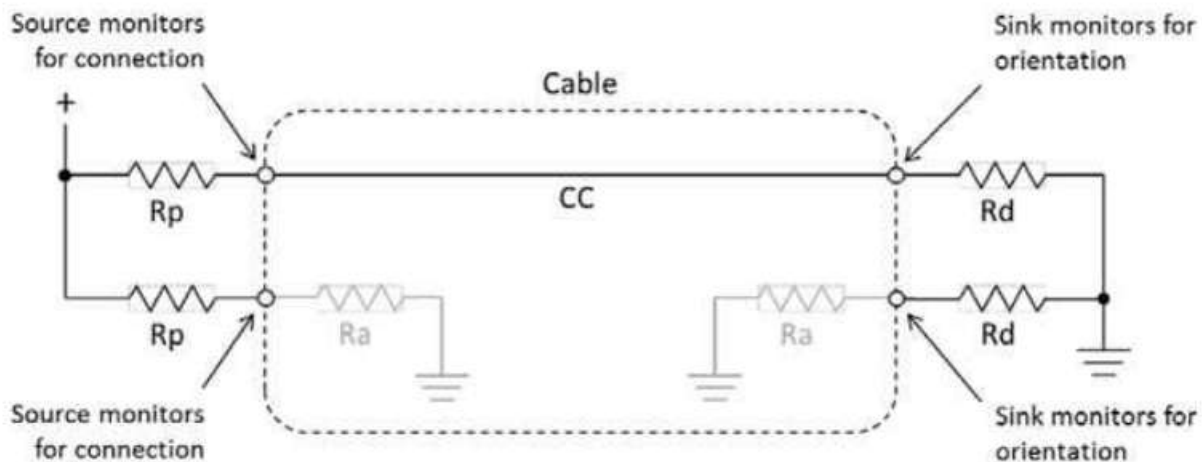


圖 3. CC 邏輯上拉和下拉終端配置。(來源: USB Type-C 規範 v1.2, 圖 4 和 5 上拉與下拉 CC 模型)

## 何時需要使用 USB PD 控制器？

USB PD 是使用 USB-C 連接器的標準配置，因此您可能會疑惑何時需要使用 USB PD 控制器。如果您的需求包含這三種情境中的任何一種，則需要 USB PD 控制器：

- 協商電壓大於 5V**。即使最大功率低於 15W，您也需要 USB PD 控制器來協商大於 5V 的電壓。例如，如果您的系統需要 15W，但只需要 5V，則不需要 USB PD 控制器。但是，如果您的系統只需要 10W，但需要 9V，則需要 USB PD 控制器來協商 9V 合約。
- 支援 USB-C 連接器上的 DisplayPort 等影片功能時**，需要 USB PD 控制器。
- 電源角色和資料角色不相符**。如果您想要擁有不同的資料和電源角色，則需要 USB PD 控制器 (源極兼 UFP)。擴充站便是一個很好的例子。擴充站不僅是為筆記型電腦充電的電源，也是用於接收影片和 USB 資料的 UFP。這必須使用電力角色交換和資料角色交換方能實現。



## USB Type-C® 的歷史

摘要

- USB 連接器基礎知識
- USB 和 USB PD 通訊協定的歷史
- USB-C 與 USB PD 的比較
- USB PD 3.1 規格演進

### Type-A



usbtypec.info

### Type-B



### Type-C



usbtypec.info

## 摘要

作者：Taylor Vogt

在本節中，我們將探討 USB 通訊協定的歷史，為 USB Type-C® (USB-C®) 和 USB 電力輸送 (PD) 日新月異的世界提供背景資訊。我們會先簡述 USB Type-A 與 USB Type-B 的定義，以及 USB 通訊協定如何隨著時間的推移發展至最新的 USB PD 3.1 規範。

## USB 連接器基礎知識

在討論通訊協定本身之前，連接器作為連接介面的重要媒介，隨著時間的推移已經採用了不同的形式。這點必須加以區別，因為隨著 USB 通訊協定功能的不斷改進，未來將需要 USB-C 連接器才能實現完整的功能集。圖 4 展示了從早期到 USB-C 的不同 USB 連接器形式。

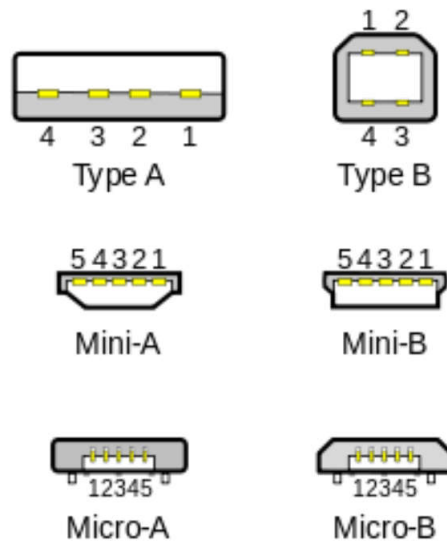


圖 4. USB 連接器概述

## USB Type-A

一般而言，最受歡迎且最常見的 USB 標準是 USB Type-A，它在 1996 年左右開始使用。桌上型電腦，遊戲主機和媒體播放器等主機裝置中都能看到 USB Type-A 連接埠的蹤跡。

## USB Type-B

USB Type-USB B 接頭位於一般 USB 傳輸線的一端，該傳輸線可插入週邊設備，例如智慧型手機、列印機或硬碟。這項技術也於 1996 年問世，通常是為了控制透過 Type-A 連接至另一端 PC 的裝置。

## USB-C

在 2015 年前後，多個熱門手機和筆記型電腦品牌開始採用 USB-C。USB-C 在連接器設計上具有創新性，不僅實現了可逆插拔，提升了使用便利性，還透過小型化設計，將其對更薄、更時尚設備的影響降到最低。圖 5 展示了從 USB Type-A 到 USB Type-C 的纜線演進過程，同時圖 6 也深入探討了 USB-C 連接器的設計細節。

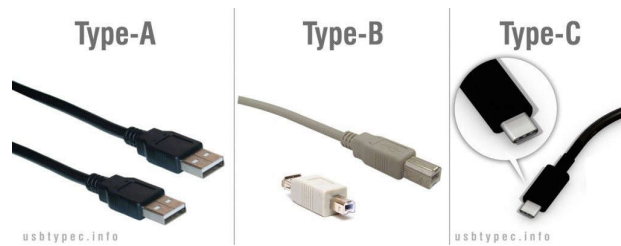


圖 5. USB 纜線概述

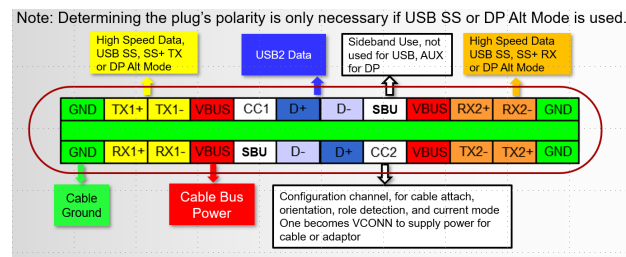


圖 6. USB-C 連接器概述

## USB 和 USB PD 通訊協定的歷史

就通訊協定本身而言，現在由 USB Implementers Forum (USB-IF) 定義的 USB 規範總共有六種，分別是：USB 1.0、2.0、3.0、3.1、3.2 和 4.0。但 USB 1.0 基本上已不再使用，因此 USB 2.0 至 USB 4.0 是目前參考的標準。

2012 年發布了第一項 USB PD 1.0 規範，但隨後在 2014 年迅速推出 USB 2.0 版本，規定使用 USB-C 連接器，並完善了一些技術細節以支援五種電源供應級別，分別是：15W、27W、45W、60W 及 100W。

USB PD 3.0 於 2018 年推出，為標準增添一些彈性，更易貼合各種裝置的需求。它改進了通訊協議以支援電池狀態監控、增強安全性以及快速角色切換等功能。此外也推出可編程電源供應器 (PPS) 協定，允許電壓以 20mV 粒度增量進行調整。這使得需要精確電壓調整的快速充電應用能夠進行自訂電壓協商。

USB PD 3.1 規範於 2021 年推出。這是一項重大更新，可透過 USB-C 纜線和連接器提供高達 240W 的電源。超越 100W 至 240W 的範圍稱為延伸功率範圍 (EPR)，而之前的 USB PD 範圍則改稱標準功率範圍 (SPR)。

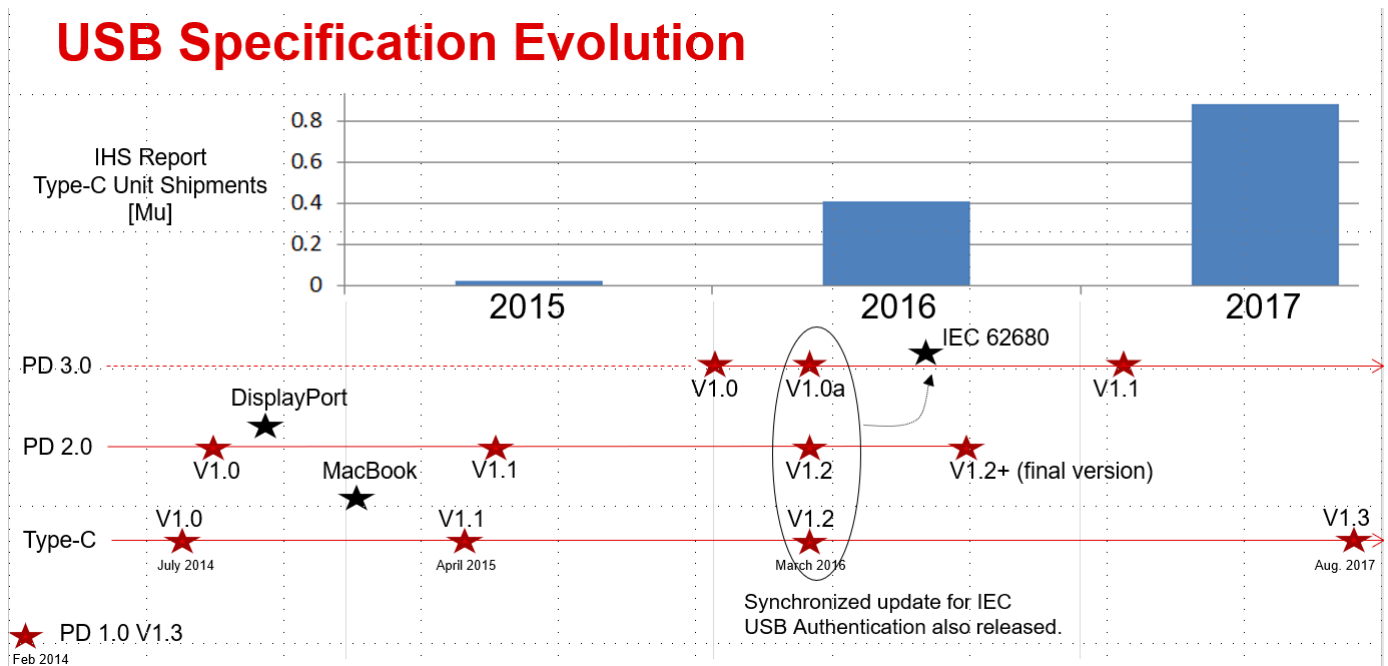


圖 7. USB 規範演進

與之前的 USB 通訊協議不同，USB 4.0 標準要求使用 USB-C 連接器，因為其支援的功能有所增加。此外，USB 4.0 引入了一項新發展，支援 DisplayPort™ 和 PCI Express (PCIe)。

這些變更將在後續章節深入探討，但以較高層級的觀點來看，以下是一些 USB 和 Thunderbolt 技術的重點：

- USB 3.2 :
  - USB 3.2 Gen 1 (前身為 USB 3.0)，SuperSpeed 最高 5Gbps。
  - USB 3.2 Gen 2 (前身為 USB 3.1)，SuperSpeed 最高 10Gbps。
  - USB 3.2 Gen 2x2 (即實際的 USB 3.2)，SuperSpeed 最高 20Gbps。
  - 透過兩條 10Gbps 線路進行多重操作，資料速率最高可達 20Gbps。
  - 不需要 USB PD 電源合約。
- Thunderbolt 3 :
  - 將 USB (2.0、3.0 和 3.1)、PCIe 和 DisplayPort 整合至單一介面。
  - 需要 USB PD 合約。
  - 當 Intel 的 Thunderbolt 3 替代模式完成協商後就會啟動。
- USB 4.0 :
  - 使用現有 USB-C 纜線實現雙線路運作，速率可達 40Gbps。
  - 向下相容於 USB 3.2、USB 2.0 及 Thunderbolt 3。
  - 需要 USB PD 電源合約。
  - 不依賴於進入替代模式。

图 8 展示了 USB 資料傳輸速率的視覺化比較圖。

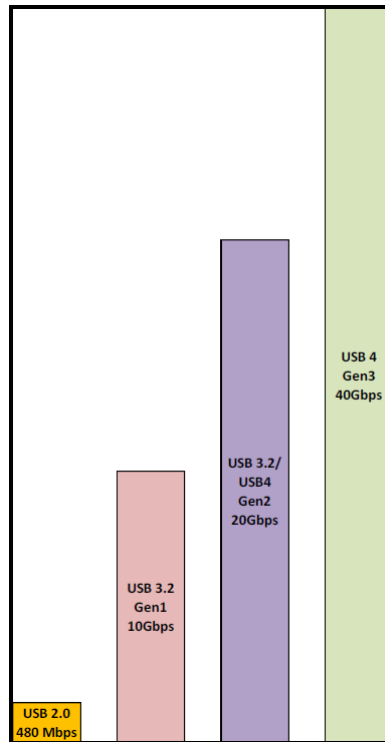


图 8. USB 資料傳輸速率

為了簡化 USB 網路，只需要一部主機和一部裝置即可。通常而言 PC 是主機，智慧型手機、平板電腦或相機則是裝置。就資料與電源而言，電力會從主機流向裝置，而資料則可雙向流動。

USB 1.0 和 2.0 標準下行埠可在高達 480Mbps 的資料速率下提供最高 500mA 或 0.5A 的資料傳輸速率。USB 3.0 提供高達 900mA 或 0.9A 的電流，資料速率為。這些功率輸出規格是以各標準輸出 5V 為基礎的額定值。然而，專用 USB 3.0 充電和下行充電埠可提供高達 1500mA 或 1.5A 的電流，對應 7.5W 的輸出功率。

## USB-C 與 USB PD 的比較

基本上，USB-C 直接指涉用於插入系統的連接器硬體，而 USB PD 指的則是通訊協定。至於 USB-C 則是結合電源、影片和資料傳輸功能的最新 USB 介面。從外觀上來說，USB-C 比 USB Type-A 連接器小，並支援可逆插拔功能。由於 USB-C 連接器具備強化功能組合，因此單一 USB-C 連接器即可取代系統中現有裝置的多個連接器。

在預設情況下，USB-C 連接器可在 5V 和 3A 電源範圍內運作，可用於不需要更高功率的應用中。然而，USB-C 連接器支援 USB PD 協議，該協議可以提供高達 USB 電池充電 1.2 規範兩倍的功率，最高可達 100W (20V 和 5A)。USB PD 可以利用 DisplayPort 或 Thunderbolt 等替代模式，透過 USB-C 傳輸線支援高頻寬影片和資料傳輸速率。圖 9 顯示了所有不同的電源模式及其執行順序。

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

圖 9. 電源模式的優先順序

USB-IF 規範詳細描述了 USB PD 協議，包括系統簽訂 USB PD 合約所需的步驟。簡單來說，USB PD 控制器可以執行這些步驟，而具體指令則根據連接埠的角色是源極還是汲極而有所不同。源極會先透過一定數量的電源傳輸物件 (PDO) 來宣告其電源功能，而汲極則會要求其中一個。源極需要接受此請求，而汲極需要確認才能進入 USB PD 合約。圖 10 顯示了此協商順序。

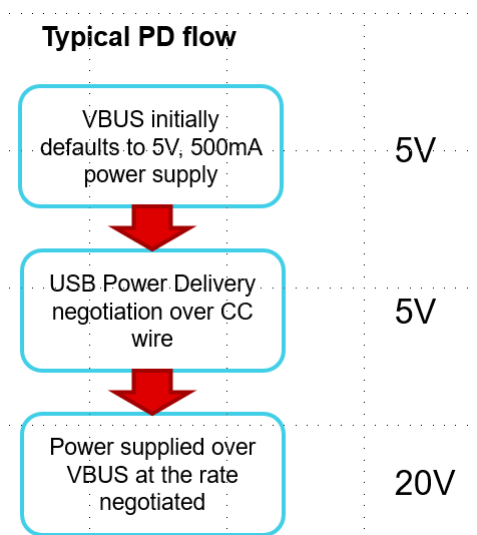


圖 10. USB PD 電源協商順序

以下是應使用 USB PD 控制器啟用 USB-USB PD 的一些原因：

- 更高的電壓 – 最高可達 20V，而 5V、9V、15V 也可滿足大多數客戶需求。(最新的 USB PD 規範包括 28V、36V 和 48V。)
- 透過 USB 傳輸線提供高達 100W 的電源 (如果包括最新 USB PD 規範中的 EPR，則可達 240W)。
- 提供電力的連接埠可以協商：下行埠可以是供電或承電側，上行埠也可以是供電或承電側。
- 橫跨多重週邊設備的高效率電源管理。
- 下行埠具有冷插座以節省電力。
- 與舊版 USB 產品共存。
- 支援替代模式。

### USB PD 3.1 規格演進

後續章節將更詳細說明 PD3.1 和延伸功率範圍。以下是 USB-IF 總結的主要功能：

- 全新 28V、36V 及 48V 固定電壓分別可提供最高 140W、180W 及 240W 的功率位準。可調式電壓供應模式允許供電裝置請求介於 15V 及更高之間的中間電壓，直到充電器的最大可用固定電壓。
- 電源方向也不再是固定的。換句話說，產品主機或週邊設備可以用於供電。
- 每個裝置都可協商所需的最低功率，以確保在發生其他要求時仍可提供電力。
- 透過使用選配集線器與 PC 進行通訊，實現智慧系統級電源管理。
- 允許耳機等低功耗裝置僅為所需功率進行協商。

雖然未來仍不明朗，但歐盟正在採取行動，在所有小型電子裝置 (包括手機和可攜式充電器) 中普及 USB-C 連接器，以減少電子廢物並簡化消費者的易用性。

## USB Type-C® 及 USB PB 規範簡介與概覽

- 摘要
- USB-C 連線
- VCONN 和訊息類型
- 透過 CC 線路協商 USB PD 供電
- 資料角色交換
- 電源角色切換
- USB PD 替代模式簡介
- EPR 簡介





## 摘要

作者：Adam McGaffin、Eric Beljaars 和 Ghouse Mohiuddin

USB Type-C® (USB-C®) 和 USB 電力輸送 (USB PD) 規範是 USB-C 連接器中使用的兩種通訊協定。雖然這兩種通訊協定是相互獨立的，但彼此又密切地交織在一起，因為必須先建立 USB-C 合約，才能協商 USB PD 合約。在本章中，我們將逐步說明這兩種規範，並介紹複雜的 USB PD 主題。

## USB-C 連線

USB-C 連接器和纜線上有兩個配置通道 (CC) 針腳，分別對應每個方向，這使得 USB-C 能夠實現可逆插拔功能。CC 接腳用於判斷何時連接纜線，以及 USB-C 連接埠會擔任源極或汲極角色；此外接腳也會傳輸和接收所有 USB PD 通訊。在連接後，根據極性，其中一條 CC 線路會用於傳訊，另一條 CC 線路則可用於 VCONN，為主動纜線和 e-marker 供電。

USB-C 電源會在 CC 針腳 (Rp) 上將呈現上拉電阻器，而 USB-C 電源汲極則會在 CC 針腳 (Rd) 上呈現下拉電阻器。當源極與汲極連接時，Rp 和 Rd 將在 CC 接腳上形成分壓器。這就是檢測 USB-C 連接的方式。除了連接埠的電源角色外，在標準 USB-C 中，Rp 和 Rd 還用於決定資料角色。Rp 由源極提供，源極始終為下行埠 (DFP)；Rd 則由汲極表示，汲極始終為上行埠 (UFP)。透過 Rp 與 Rd 電阻分壓器偵測連線後，源極必須提供 5V 電壓，且汲極可根據隱含 USB-C 合約開始消耗電流。

Rp 的電阻值將決定源極可提供多少電流，具體細節在 USB-C 規範中有所說明。汲極會透過上拉強度偵測 Rp 電阻值，並根據所連接源極的能力限制電流消耗。請注意，USB-C 是冷連接器，也就是說當沒有連接任何元件時，VBUS 的電壓為 0V。這與傳統 USB Type-A 不同，後者在 VBUS 上始終存在 5V 電壓。冷連線代表每個 USB-C 源極連接埠都需要支援根據是否連接裝置啟用與停用 5V 的功能，並需控制通過該連接埠的電流。

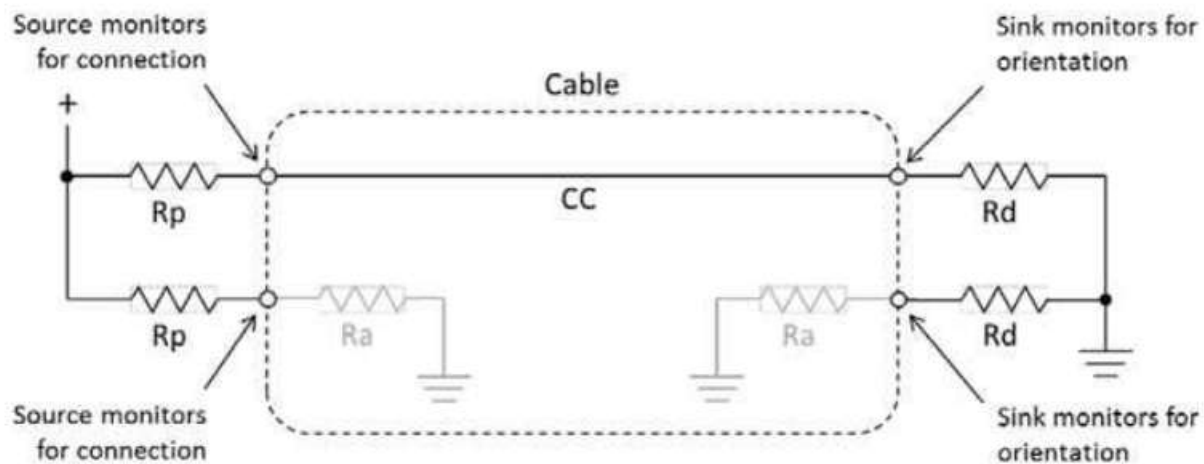


圖 11. CC 邏輯上拉和下拉終端配置。(來源: USB Type-C 規範 v1.2, 圖 4 和 5 上拉與下拉 CC 模型)

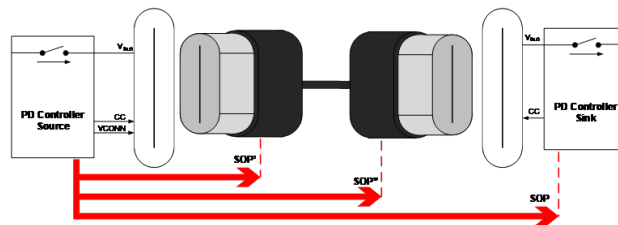
## VCONN 和訊息類型

建立標準 USB-C 合約後，CC 線路即可在連接的裝置間傳送和接收 USB PD 訊息。在電流超過 3A、支援 USB 3.0 資料速率或使用 DisplayPort™ 或 Thunderbolt 替代模式的情況下，CC 線路還可以透過 VCONN (相對的 CC 線路) 提供電力，為電子標記纜線或主動纜線供電。

共有三種不同類型的 CC 訊息：封包起始 (SOP)、SOP' 和 SOP''。訊息類型會顯示該訊息的接收設備：

- SOP 訊息透過纜線從一個 USB PD 控制器轉移到另一端的 USB PD 控制器。
- SOP' 訊息會傳送到纜線末端的 e-marker，該 e-marker 與傳送訊息的連接埠相接。
- SOP'' 訊息傳送至纜線末端，傳送訊息的連接埠對側的 e-marker。

**圖 12** 將重點介紹 DFP 或源極 USB PD 控制器傳送 SOP、SOP' 和 SOP'' 訊息的位置。在本章中，我們將重點介紹從一個 USB PD 控制器到另一個 USB PD 控制器的標準 SOP 訊息，因為大多數協商都在此過程中發生。與纜線兩端的 e-marker 通訊時，通常僅用於進行相容性檢查，以了解纜線的能力。



**圖 12.** SOP、SOP' 和 SOP'' 訊息

現在我們已經了解訊號傳輸發生在 CC 線路上，以及如何識別傳送訊息的裝置，接下來我們來談談訊息的類型及其作用。USB PD 訊息共有三種主要類別：控制訊息，資料訊息及延伸訊息。

控制訊息很短，用於管理埠夥伴之間的訊息流或交換不需要額外資料的訊息。控制訊息的長度為 16 位元。**表 3** 展示了控制訊息類型的完整清單。

**表 3. 控制訊息類型**

訊息類型	寄件者
GoodCRC	源極、汲極或纜線插頭
GotoMin	僅源極
接受	源極、汲極或纜線插頭
拒絕	源極、汲極或纜線插頭
偵測	僅源極
PS_RDY	源極或汲極
Get_Source_Cap	汲極或雙重用途電源 (DRP)
GET_SINK_Cap	源極或 DRP
DR_Swap	源極或汲極
PR_Swap	源極或汲極
VCONN_SWAP	源極或汲極
Wait	源極或汲極
軟重置	源極或汲極
DATA_Reset	源極或汲極
DATA_Reset_Complete	源極或汲極
Not_Supported	源極、汲極或纜線插頭
Get_Source_Cap_Extended	汲極或 DRP

表 3. 控制訊息類型 (續)

訊息類型	寄件者
Get_Status	源極或汲極
FR_Swap	汲極
Get_PPS_Status	汲極
Get_Country_Codes	源極或汲極
Get_Sink_Cap_Extended	源極或 DRP
Get_Source_Info	汲極或 DRP
GET_Revision	源極或汲極

資料訊息用於在一對埠夥伴之間交換資訊。資料訊息的長度從 48 位元到 240 位元不等。其類型共分三種：

- 用於顯示能力和協商電力的訊息。
- 用於內建自我測試 (BIST) 的訊息。
- 供應商自訂的訊息。

表 4 展示了資料訊息類型的完整清單。

表 4. 資料訊息類型

訊息類型	寄件者
Source_Capabilities	源極或 DRP
要求	僅汲極
BIST	測試器、源極或汲極
Sink_Capabilities	汲極或 DRP
Battery_Status	源極或汲極
Alert	源極或汲極
Get_Country_Info	源極或汲極
ENTER_USB	DFP
EPR_REQUEST	汲極
EPR_Mode	源極或汲極
Source_Info	來源
修訂版本	源極、汲極或纜線插頭
Vendor_Defined	源極、汲極或纜線插頭

與資料訊息一樣，延伸訊息也用於在一對埠夥伴之間交換資訊。延伸訊息有多種類型，包括：

- 用於提供電源和電池資訊的訊息。
- 安全防護專用訊息。
- 用於韌體更新的訊息。
- 供應商自訂的訊息。

表 5 展示了延伸訊息類型的完整清單。

表 5. 延伸訊息類型

訊息類型	寄件者
Source_Capabilities_Extended	源極或 DRP
狀態	源極、汲極或纜線插頭
GET_BATTERY_Cap	源極或汲極
Get_Battery_Status	源極或汲極

表 5. 延伸訊序類型 (續)

訊息類型	寄件者
Battery_Capabilities	源極或汲極
Get_Manufacturer_Info	源極或汲極
Manufacturer_Info	源極、汲極或纜線插頭
安全性請求	源極或汲極
Security_Response	源極、汲極或纜線插頭
Firmware_Update_Request	源極或汲極
Firmware_Update_Response	源極、汲極或纜線插頭
PPS_Status	來源
Country_Info	源極或汲極
Country_Codes	源極或汲極
Sink_Capabilities_Extended	汲極或 DRP
Extended_Control	源極或汲極
EPR_Source_Capabilities	源極或 DRP
EPR_SINK_Capabilities	汲極或 DRP
Vendor_defined_Extended	源極、汲極或纜線插頭

每種訊息類型的詳細說明，請參閱 USB PD 規範。

### 透過 CC 線路協商 USB PD 供電

現在，您已透過  $R_p$  和  $R_d$  進入基本的 USB-C 隱式合約，確定了哪條 CC 線用於通訊，哪條用於 VCONN，並透過 SOP' 和 SOP'' 訊息與纜線進行通訊以了解其能力，接下來我們開始使用 SOP 訊息在兩個裝置之間進行 USB PD 協商。

USB PD 傳訊在兩個連接的裝置間由 300kbps  $\pm$ 10% 雙相位標記碼 (BMC) 訊號組成。此傳訊會在 CC 接腳上發生。

在 USB PD 協商中傳送的第一條訊息是來自 DFP 和源極連接埠的 Source\_Capabilities。Source\_Capabilities 訊息包含電源資料物件 (PDO)，這些物件描述了源極能夠提供給連接設備的電力參數。

在每則 USB PD 訊息之間，接收到該訊息的裝置會回傳一個 GoodCRC 訊息。例如，當 DFP 和源極連接埠傳送 Source\_Capabilities 時，汲極和 UFP 連接埠將在下一則訊息之前回傳 GoodCRC 訊息。GoodCRC 表示連接的裝置成功接收了前一則訊息。汲極和 UFP 連接埠從連接的設備接收 Source\_Capabilities 訊息後，會傳送一則 Request 訊息，請求運行所需的 PDO。若源極能力與汲極所需的操作電流不直接相符，汲極會在要求訊息中切換功能不相符位元，以向源極表示此情況。

當 DFP 和源極連接埠收到來自附加汲極的要求訊息後，源極連接埠將向汲極傳送接受訊息。源極將調整 VBUS 上的電壓，以符合汲極的要求。

當源極的電壓調整到請求 PDO 的  $\pm$ 5 內，源極將傳送 PS\_RDY 訊息給汲極，表示電壓已穩定。在收到 PS\_RDY 訊息後，汲極方可開始汲取電流至要求的 PDO。

**圖 13** 顯示了在標準 USB PD 分析儀上的 USB PD 電力協商過程。我們建議在設計具有 USB PD 的系統時購買 USB PD 分析儀，以記錄兩個裝置間的 CC 協商流量。當系統出現意外行為時，它就能在除錯過程中派上用場。

PD Pkts	4 Packets 32-35	SOP	CBL	PD Msg	Msg Type	Cable Plug	Msg ID	Obj Cnt	VDM Header	Cmd	Cmd Type	Obj Pos	Vendor ID										
	Packet 36	Right	"82-EVM Src"	SRC	PD Msg	Source Cap	DFP	SRC	0	3	Fixed	Max Cur	Voltage	Dual Role	Fixed	Max Cur	Voltage	Dual Role	Fixed	Max Cur	Voltage	Dual Role	
	Packet 37	Left	"82-EVM Snk"	SNK	PD Msg	GoodCRC	UFP	SNK	0	0													
	Packet 38	Left	"82-EVM Snk"	SNK	Request	Request	UFP	SNK	0	1	Request	Max Opr Cur/Pow	Opr Cur/Pow	Cap Mismatch	Obj Pos								
	Packet 39	Right	"82-EVM Src"	SRC	PD Msg	GoodCRC	DFP	SRC	0	0													
	Packet 40	Right	"82-EVM Src"	SRC	PD Msg	Accept	DFP	SRC	1	0													
	Packet 41	Left	"82-EVM Snk"	SNK	PD Msg	GoodCRC	UFP	SNK	1	0													
	Packet 42	Right	"82-EVM Src"	SRC	PD Msg	PS Ready	DFP	SRC	2	0													
	Packet 43	Left	"82-EVM Snk"	SNK	PD Msg	GoodCRC	UFP	SNK	2	0													

圖 13. USB PD 電源協商

圖 13 說明了以下訊息序列：

1. 如果纜線功能或插頭類型未知，則源極會加以檢測。源極會傳送 Source\_Capabilities 訊息，代表電源供應器的目前功能，並附有循環冗餘檢查 (CRC)。
2. 汲極策略引擎評估源極傳送的 Source\_Capabilities 訊息，檢測插頭類型 (如果需要)，並選擇要使用的電源。汲極將請求所需的資料 (如 PDO) 組成一則訊息並傳送該訊息。
3. 源極策略引擎評估汲極傳送的請求訊息，並決定是否可以完成請求。源極生成並傳送一個附帶 CRC 的接受訊息，這會觸發以下動作：
  - 汲極會進入 SnkStandby 週期並將電流拉至低於 500mA。
  - 源極開始將 VBUS 上的電壓從 VBUS\_OLD 轉換為 VBUS\_NEW，在本案例中從 5V 轉換為 20V。
4. 源極裝置的策略管理器通知策略引擎，電源已穩定到新的運行狀態，並傳送一則附帶 CRC 的 PS\_RDY 訊息。

如需詳細資訊，請參閱 USB PD 規範。

圖 14 展示了一次成功的固定電壓、可變電壓或電池標準功率範圍 (SPR) 電力協商過程，如 USB PD 規範中所述。若有興趣，您可以在 USB PD 規範的完整電子書中搜尋關鍵字，以獲得更多詳細資訊。

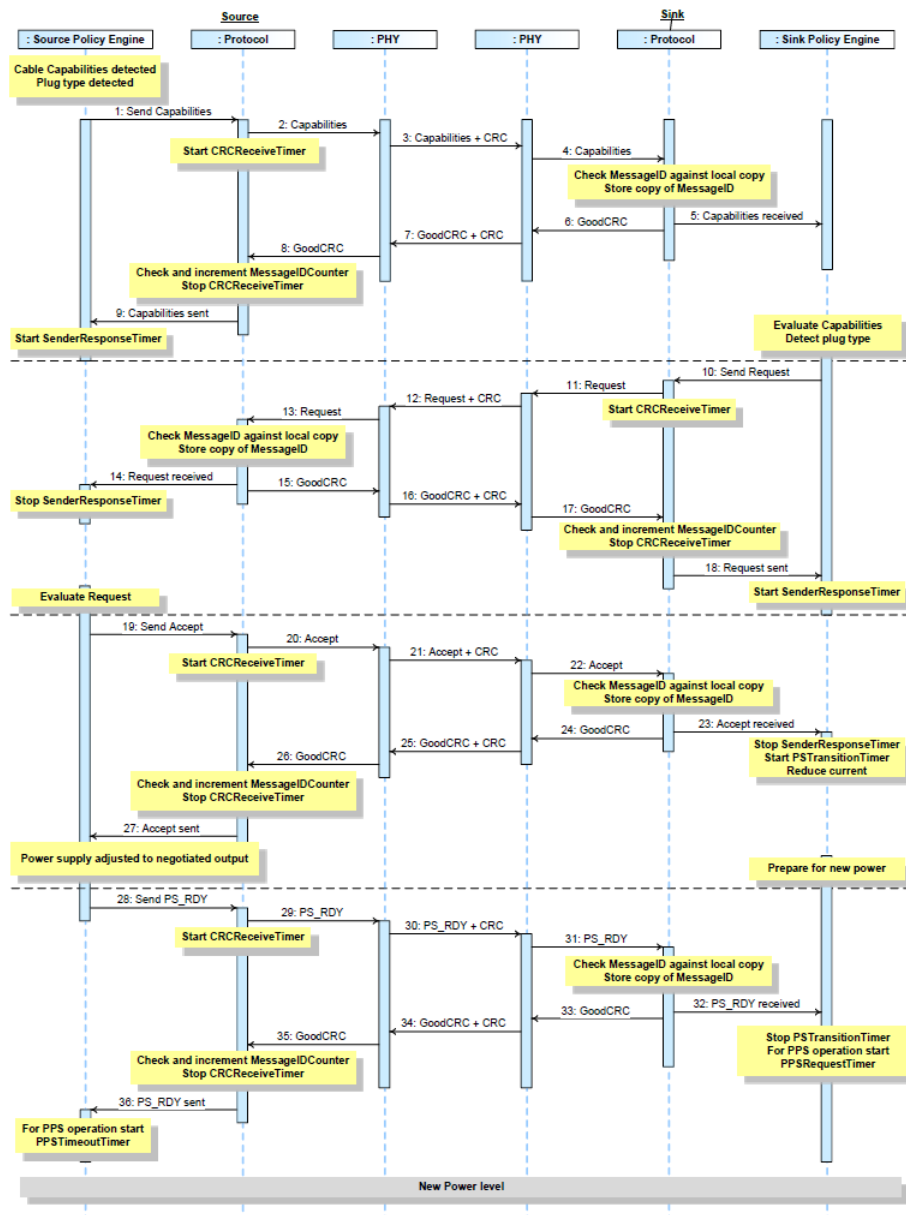


圖 14. 成功的固定電壓、可變電壓或電池 SPR 電源協商

### 資料角色交換

在啟用具有 USB PD 功能的 USB-C 連接埠時，您可以混合搭配資料角色與電源角色。在標準 USB-C 連線中，資料角色與電源角色必然會保持一致，並由 CC 線路上的 Rp 或 Rd 電阻決定。USB PD 傳訊則增加了交換電源角色或資料角色的功能，因此可以將兩者混合搭配。這意味著您的 USB PD 連接埠可以成為 DFP 兼汲極，或 UFP 兼源極。

例如，您將筆記型電腦連接到擴充站時，希望擴充站為筆記型電腦供電和充電，但也希望從電腦接收資料，以便連接滑鼠、鍵盤或顯示器。在這種情況下，擴充站必須是電力來源兼資料 UFP。要進入此狀態，就需要執行資料角色交換或電源角色交換。

由於筆記型電腦和擴充站通常都支援 DRP，因此兩個裝置都可能在初始的電源或資料角色中扮演特定角色。假設筆記型電腦一開始是 UFP 兼汲極，則擴充站會成為 DFP 兼源極。在此情況下，雖然電源角色是正確的，卻需要完成一次資料角色交

換才能進入正確的資料角色。資料角色交換可以由任何一個埠夥伴啟動。但是，啟動交換的一方通常會是筆記型電腦，因為它想成為 DFP。事件序列如下：

1. UFP 兼汲極會將資料角色交換 (USB PD 規格中的 DR\_Swap) 訊息傳送至 DFP 兼源極。
2. DFP 兼源極接收資料角色交換訊息，並回傳接受訊息。

此時，筆記型電腦將成為 DFP 和汲極，資料角色交換完成。圖 15 展示了 USB PD 規範中，此序列的具體樣貌。

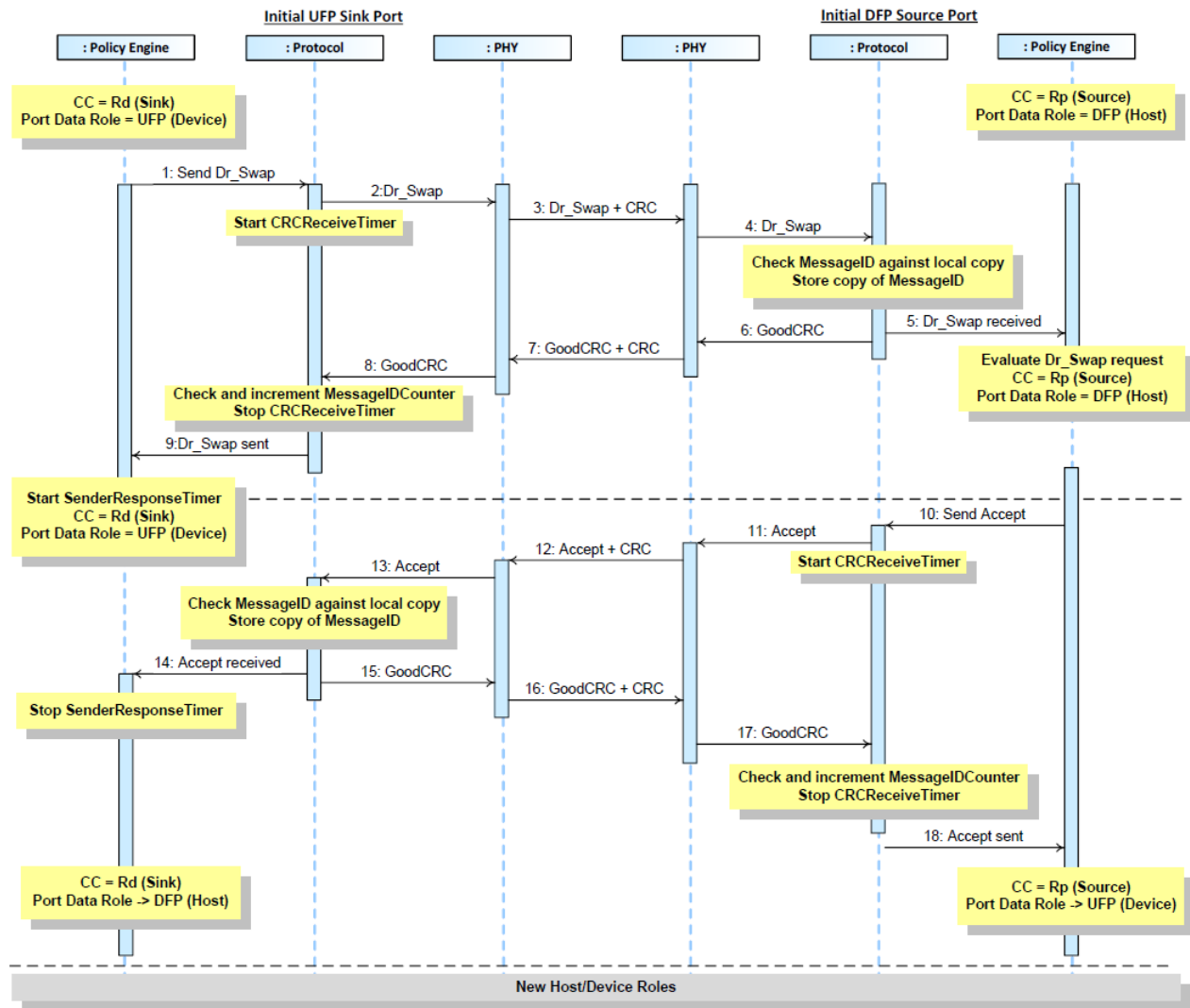


圖 15. 成功進行資料角色交換，從 UFP 切換到 DFP

## 電源角色切换

接下來，讓我們說明筆記型電腦作為 DFP 和源極連接的範例。在此情況下，筆記型電腦處於正確的資料角色，但需要完成電源角色切换，使擴充站成為電源並開始為筆記型電腦充電。

以下是筆記型電腦 (DFP 和源極) 發起電源角色切换以轉變為受電端時的事件序列：

1. DFP 兼源極傳送電源角色交换 (在 USB PD 規範中為 PR\_Swap) 訊息至 UFP 兼汲極。
2. UFP 兼汲極回傳接受訊息至 DFP 兼源極。

- DFP 兼源極停止供電，並將 CC 終端從 Rp 變更為 Rd，表示它即將成為汲極。隨後，DFP 兼源極會傳送 PS\_RDY 訊息，表示已停止供電。
- 初始 UFP 兼汲極會從初始 DFP 兼源極接收第一個 PS\_RDY。初始 UFP 兼汲極會將其 CC 終端從 Rd 變更為 RP，並開始在 VBUS 上提供 5V 電力。
- 當 VBUS 上有 5V 可用時，初始 UFP 兼汲極會傳送第二個 PS\_RDY，表示電源角色切換已完成。

您會注意到序列的最終狀態是擴充站僅於 VBUS 提供 5V 電力，之後它將開始新的 USB PD 電源協商並傳送供電能力訊息。**圖 16** 展示了由初始汲極發起的電源角色交換事件序列，這在 USB PD 規範中有所說明。

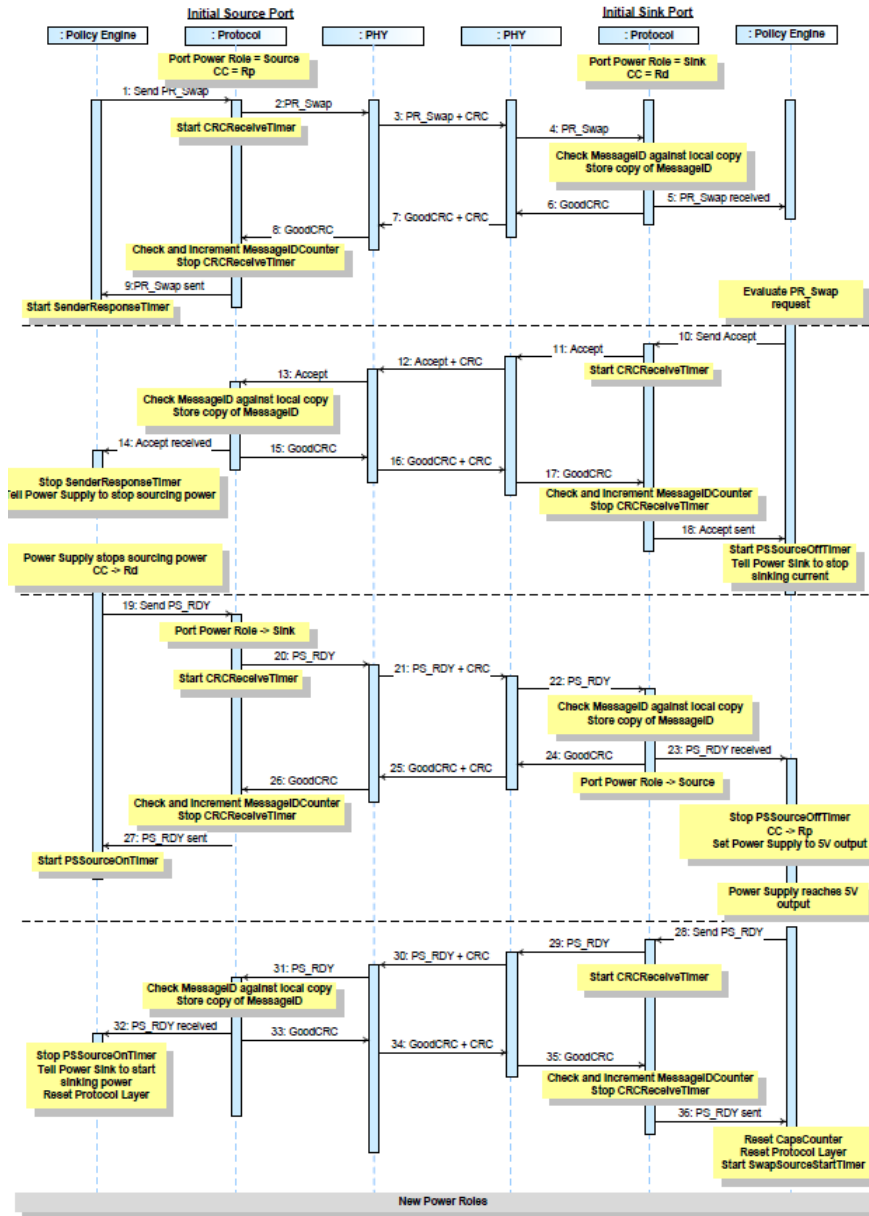


圖 16. 成功進行電源角色切换，初始汲極切换为新源极



## USB PD 替代模式簡介

USB-C 的重要優勢在於可免除消費性裝置 (DisplayPort、Thunderbolt、桶型電源接頭、USB Type-A、USB Type-B) 中幾乎所有纜線的需求。為了實現此項目標，USB-C 需要超越 USB 3.0 的額外功能，因此 USB Implementers Forum (USB-IF) 才定義了「替代模式」。替代模式可以重新利用 USB-C 針腳 (發送器和接收器對及邊帶使用) 以實現其他的功能。截至目前為止，影片一直是替代模式的主要應用領域，其中 DisplayPort 和 Thunderbolt 是透過 USB-C 纜線傳輸影片的兩種主要替代模式。

## EPR 簡介

直到最近為止，USB PD 3.0 規範都允許在經核准的 USB-C 連接埠和纜線上雙向供電和傳輸資料，最大功率為 100W (20V、5A)。最新的 USB PD 3.1 規範則將功率增加至 240W (48V/5A)。為了保持術語一致，USB-IF 將先前的 USB PD 系列改名為 SPR，並將新規範 (100W 至 240W) 改名為延伸功率範圍 (EPR)。

表 6. USB 功率位準

規範	最大電壓	最大電流	最高功率
USB 2.0	5V	500 mA	2.5 W
USB 3.0 和 USB 3.1	5V	900 mA	4.5 W
USB 電池充電 1.2	5V	1.5 A	7.5 W
USB-C 1.2	5V	3 A	15 W
USB PD 3.0	20V	5 A	100 W
USB PD 3.1	48V	5 A	240 W

## 透過 USB Type-C® 傳輸 USB 訊號

- 簡介
- 透過 Type-C 傳送 USB 2.0 訊號
  - 低速和全速
  - 高速
  - 低速、全速和高速資料速率
  - USB 2.0 訊號完整性
- 透過 USB-C 傳送 SuperSpeed 訊號
  - SuperSpeed 啟動速度協商
  - SuperSpeed 訊號完整性挑戰



## 簡介

作者：Undrea Fields

USB Type C® (USB-C®) 相容於 USB 規範版本 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 及 USB4 80Gbps。

所有 USB 通訊透過 USB-C 傳輸時，均使用六組差分對進行：

- D1+、D1- (低速、全速、高速)。
- D2+、D2- (低速、全速、高速)。
- TX1+、TX1- (SuperSpeed 通道 1 發射 [TX])。
- Rx1+、RX1- (SuperSpeed 通道 1 接收 [RX])。
- TX2+、TX2- (SuperSpeed 通道 2 TX)。
- Rx2+、RX2- (SuperSpeed 通道 2 RX)。

## 透過 Type-C 傳送 USB 2.0 訊號

根據 USB 規範，在部署 USB-C 時必須同時支援 USB 2.0 (包括 USB 1.0 和 USB 1.1) 訊號與 USB-C 介面的 SuperSpeed 訊號，以維持向下相容性。

### 低速和全速

低速與全速訊號為 3.3V 訊號。如圖 17 所示，低速或全速裝置會在 D+ (全速) 或 D- (低速) 訊號上連接一個 1.5kΩ 的上拉電阻器至 3.3V，以便主機判斷所需的介面速度。

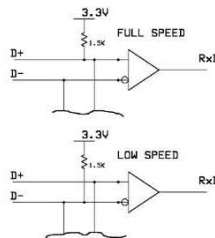


圖 17. 低速和全速上拉

### 高速

高速訊號包含 3.3V 和 800mV 差動訊號的組合。如圖 18 所示，高速設備在 D+ 和 D- 訊號上均具有 45Ω 的終端電阻。

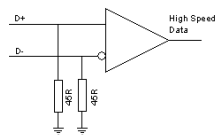


圖 18. 高速終端

起初，高速裝置處於閒置狀態，此時 D+ 信號為 3.3V，這是在進行高速協商之前的狀態。高速協商成功完成後，高速封包 (480Mbps) 會以約 400mV 的差分電壓傳輸。此過程如圖 19 所示。

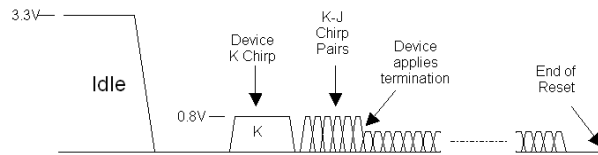


图 19. 高速協商

### 低速、全速和高速資料速率

每次修訂 USB 規範後，資料傳輸速率都會增加。表 7 列出了低速、全速 (USB 1.1) 和高速 (USB 2.0) 的輸送量。

表 7. USB 1.1 及 2.0 資料速率

名稱	速度
低速	1.5Mbps
全速	12Mbps
高速	480Mbps

### USB 2.0 訊號完整性

隨著 USB 2.0 資料速率增加，在某些情況下，特別是在桌上型或伺服器型平台上，從主機到 USB 連接器印刷電路板走線較長時，可能需要德州儀器 TUSB211A 等訊號調節器的協助才能通過 USB 2.0 主機眼圖電氣測試。图 20 展示了此範例，以及如何在現有走線上使用 TUSB211A 作為訊號調節器。

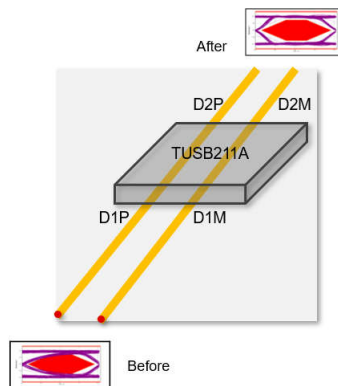


图 20. TUSB211A USB 2.0 訊號調節器

### 透過 USB-C 傳送 SuperSpeed 訊號

所有 USB SuperSpeed 訊號皆以相同的差動對 (TX1、RX1、TX2 和 RX2) 傳輸及接收。USB-C 上的 SuperSpeed 訊號可使用 TX1/RX1 對或 TX2/RX2 對，這也稱為 x1 實作。透過 USB-C 傳輸 USB，可以啟用未使用的 TX/RX 對，進而在 x1 實作的基礎上有效地將資料輸送量加倍，而無需提高資料速率，這種方法被稱為 x2 實作。

表 8 展示了不同的 USB 3.0 和 USB 4.0 規範版本及相關資料傳輸速率。

表 8. SuperSpeed USB 資料速率

模式	名稱	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 資料速率 (續)

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

### SuperSpeed 啟動速度協商

SuperSpeed 裝置在啟動時使用 SuperSpeed USB 的低頻週期性訊號 (LFPS) 訊號，並透過對 LFPS 信號進行脈衝調變 (LBPM) 進行協商，連接到最高的可用資料速率 (例如 10Gbps 和 20Gbps)。USB 4.0 使用 LBPM 訊號並作為多相協商的一部分。圖 21 展示了 LBPM 協商的一個範例。

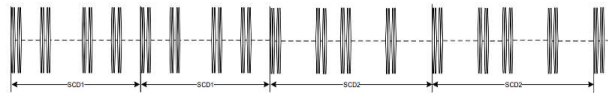


圖 21. LBPM 範例

### SuperSpeed 訊號完整性挑戰

當訊號透過介面傳輸時，資料傳輸速率的大幅增加對訊號完整性構成了挑戰。有許多因素都會造成訊號完整性劣化。走線、連接器和纜線都是插入損失的來源，也會造成高速訊號的符號間干擾、串音、雜訊和抖動。此外，任何連線點的阻抗不相符都會造成訊號反射。訊號速度越快，發生訊號劣化的可能性就越大。圖 22 展示了可能導致訊號劣化的潛在來源清單。

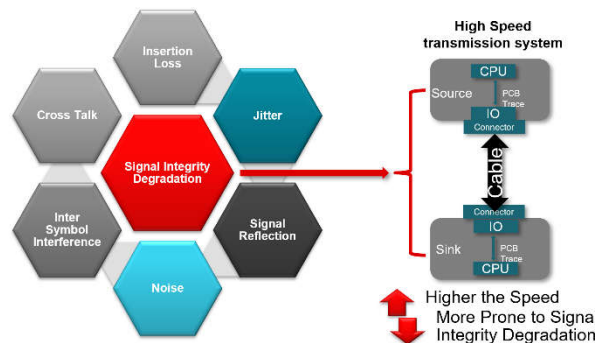


圖 22. 訊號完整性劣化來源

為了解決這些訊號完整性挑戰，您可以在 USB-C 連接埠使用訊號調節器。TUSB1146 線性轉接驅動器等訊號調節器可補償系統中的符號間干擾，同時不會干擾鏈路訓練，因為任何預加強或削弱都可以直接通過。

## USB Type-C® 的訊號多工處理

USB-C USB 2.0

USB-C USB 3

USB PD DisplayPort™ 替代模式多工處理

DisplayPort 源極裝置 (DFP\_D) 針腳分配 C

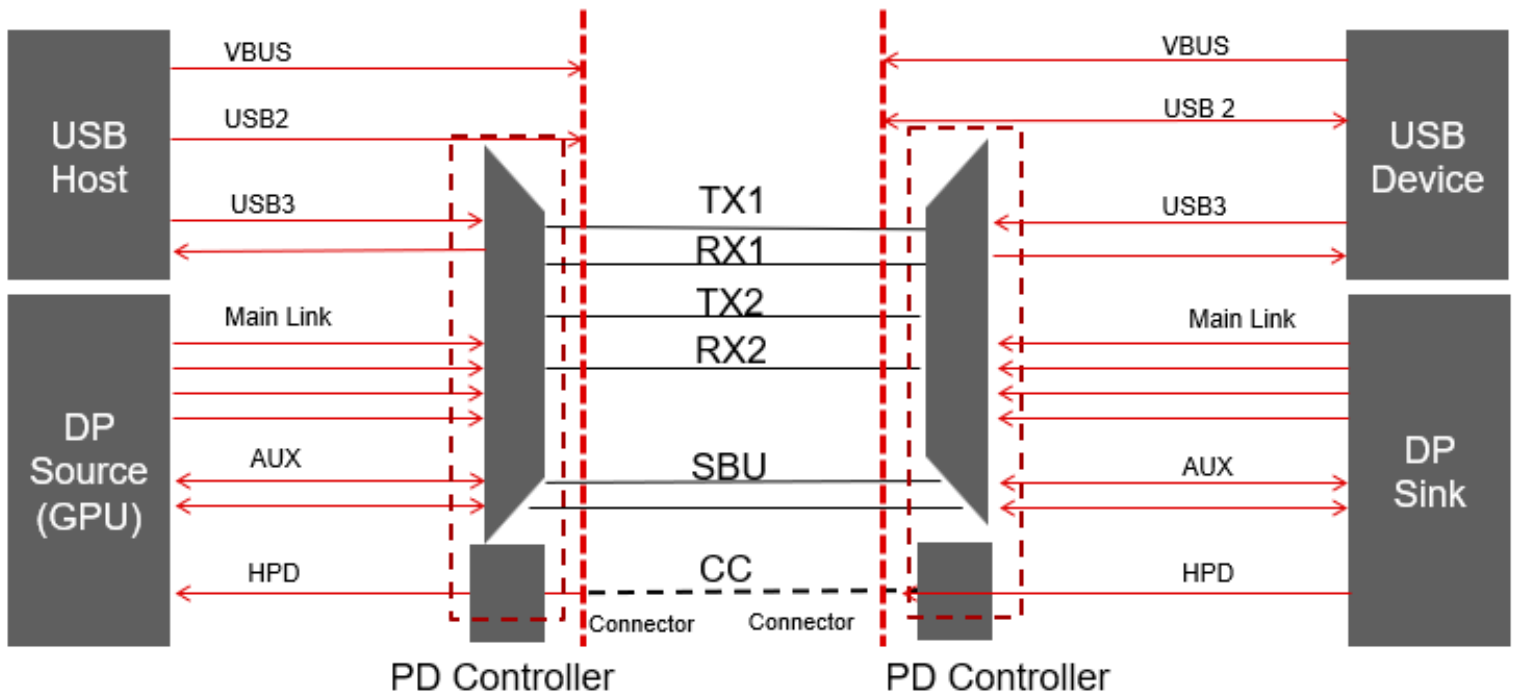
DisplayPort 源極裝置 (DFP\_D) 針腳分配 D

DisplayPort 源極裝置 (DFP\_D) 針腳分配 E

DisplayPort 汲極裝置 (UFP\_D) 針腳分配 C

DisplayPort 汲極裝置 (UFP\_D) 針腳分配 D

DisplayPort 汲極裝置 (UFP\_D) 針腳分配 E



## USB-C USB 2.0

作者：David Liu

使用 USB 2.0 技術時，由於 D+ 和 D- 針腳的定位，因此訊號多工處理的方式通常是將主機和裝置插座中的兩個 D+ 訊號針腳和兩個 D- 訊號針腳進行短路連接。

## USB-C USB 3

若為 USB 3 或 SuperSpeed 訊號，資料通道在主機和裝置兩端都需要具備多工器的功能，以適當方式將 SuperSpeed 發射 (TX) 和接收 (RX) 訊號對透過纜線路由至連接路徑。

為了建立從主機到裝置的主動 USB 資料匯流排正確路由，標準 USB-C 纜線的佈線方式是讓單一配置通道 (CC) 線與第一個 USB SuperSpeed 訊號對 (SSTXp1/SSTXn1 和 SSRXp1/SSRXn1) 對齊。如此一來，CC 線和 USB SuperSpeed 資料匯流排線路便可用來判斷纜線的方向和翻轉情形。透過偵測裝置在插座端連接的 CC 接腳 (CC1 或 CC2)，主機即可偵測要使用哪些 SuperSpeed USB 訊號進行連線，並控制功能開關，以進行 SuperSpeed USB 訊號對路由。

在裝置中偵測主機在插座端連接的 CC 針腳，可讓裝置控制傳送其 SuperSpeed USB 訊號對的功能多工器。圖 23 顯示了 SuperSpeed 傳輸 (TX) 與接收 (RX) 訊號對的佈線方式如何對應 USB SuperSpeed 訊號對 (SSTXp1/SSTXn1 和 SSRXp1/SSRXn1)。

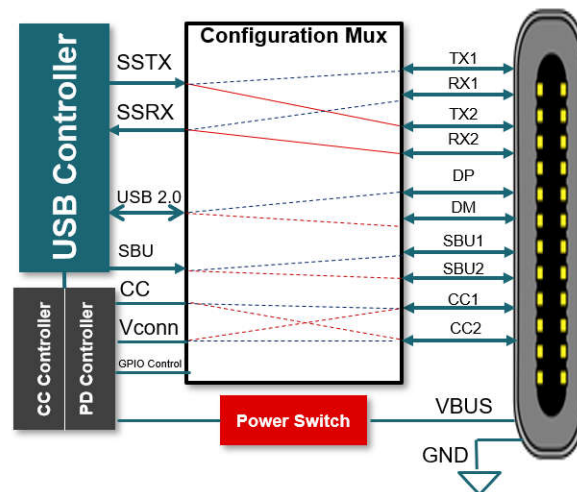


圖 23. USB 配置多工器

## USB PD DisplayPort™ 替代模式多工處理

可傳輸 DisplayPort™ 訊號的 USB-C 連接埠稱為 USB PD DisplayPort 或 DisplayPort 替代模式。DisplayPort 替代模式允許透過 USB-C 連接埠將支援 DisplayPort 的影片源 (PC、藍光播放器) 和顯示設備 (電視、顯示器) 相互連接，以播放高畫質影片。圖 24 展示了在 DisplayPort 替代模式下使用訊號的典型方塊圖。



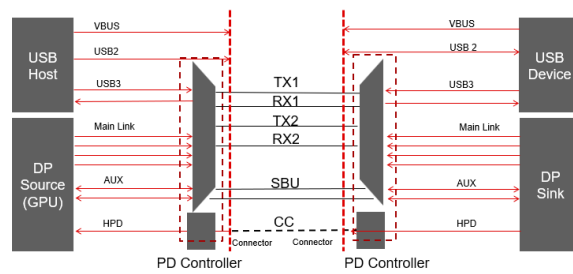


圖 24. USB-C DisplayPort

由於 USB-C 連接埠可連接 USB-C 或 DisplayPort 連接器，因此需要採用多種針腳配置來正確對應 DisplayPort 主要鍊路通道與 USB-C 連接器的實體連線。

USB-C 源極側或 DFP\_D 必須支援分配 C，如表 9 所示，而表 9 中的分配 D 則可選配。分配 C 與 D 的差異在於分配 C 支援四條 DisplayPort 通道，而分配 D 則只支援兩條 DisplayPort 通道。接至 DisplayPort 的 USB-C 連接埠必須支援分配 E。

表 9. USB-C 源極測分配

DFP_D	分配 C	分配 D	分配 E
	USB-C 轉 USB-C 或協定轉換器	USB-C 轉 USB-C 或協定轉換器	USB-C 轉 DisplayPort
USB 主機	必填	選擇性	必填
USB 裝置	必填	選擇性	必填

USB-C 汲極側或 UFP\_D 必須支援分配 C，如表 10 所示，而分配 D 則可選配。分配 C 與 D 的差異在於分配 C 支援四條 DisplayPort 通道，而分配 D 則只支援兩條 DisplayPort 通道。接至 USB-C 連接埠的 DisplayPort 必須支援分配 E。

表 10. USB-C 汲極測分配

UFP_D	分配 C	分配 D	分配 E
	USB-A 轉 USB-C	USB-A 轉 USB-C	USB-C 轉 DisplayPort
USB 主機	必填	選擇性	必填
USB 裝置	必填	選擇性	必填

### DisplayPort 源極裝置 (DFP\_D) 針腳分配 C

圖 25 和圖 26 定義了重新配置針腳以支援正常和翻轉插頭方向的 DisplayPort 時，USB-C 接頭針腳的設定。分配 C 的 DisplayPort 電氣規範必須符合 DisplayPort 系統標準，支援系統所允許的位元速率，包括超高位元速率 (UHBR) 20、UHBR 13.5、UHBR 10、HBR 3、HBR 2、HBR 或降速位元速率 (RBR)。通訊協定在 DisplayPort 標準中有明確定義。針腳分配 C 僅適用於 USB-C 至 USB-C 被動式與主動式纜線，以及具 USB-C 插頭的 DisplayPort 汲極裝置。

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

圖 25. DFP\_D 針腳分配 C 正常插頭方向

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

圖 26. DFP\_D 針腳分配 C 翻轉插頭方向

### DisplayPort 源極裝置 (DFP\_D) 針腳分配 D

DisplayPort DFP\_D 針腳分配 D 類似於 DFP\_D 分配 C，但只有兩個最低的 DisplayPort 通道映射到 USB-C 連接器。針腳分配 D 的 DisplayPort 電氣規範必須符合 DisplayPort 系統標準，支援系統所允許的位元速率，包括 UHBR 20、UHBR 13.5、UHBR 10、HBR 3、HBR 2、HBR 或 RBR。通訊協定在 DisplayPort 標準中有明確定義。針腳分配 D 僅適用於 USB-C 至 USB-C 被動式與主動式纜線，以及具 USB-C 插頭的 DisplayPort 汲極裝置。USB4 不支援分配 D。

### DisplayPort 源極裝置 (DFP\_D) 針腳分配 E

DisplayPort 的 DFP\_D 針腳分配 E 與 DFP\_D 針腳分配 C 相同。針腳分配 E 的 DisplayPort 電氣規範必須符合 DisplayPort 系統標準，支援系統所允許的位元速率，包括 UHBR 20、UHBR 13.5、UHBR 10、HBR 3、HBR 2、HBR 或 RBR。針腳分配 E 僅適用於可接受 USB-C 至 DisplayPort 被動式與主動式纜線插頭的插座，以及此類纜線上的插頭。

### DisplayPort 汲極裝置 (UFP\_D) 針腳分配 C

對於 UFP\_D 針腳分配 C，[圖 27](#) 和 [圖 28](#) 定義了重新配置針腳以支援正常和翻轉插頭方向的 DisplayPort 時，USB-C 接頭針腳的使用和設定。針腳分配 C 的 DisplayPort 電氣規範必須符合 DisplayPort 系統標準，支援系統所允許的位元速率，包

括 UHBR 20、UHBR 13.5、UHBR 10、HBR 3、HBR 2、HBR 或 RBR。UFP\_D 針腳指派 C 僅適用於 USB-C 至 USB-C 被動式與主動式纜線，以及具 USB-C 插頭的 DisplayPort 來源裝置。

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

圖 27. UFP\_D 針腳分配 C 正常插頭方向

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

圖 28. UFP\_D 針腳分配 C 翻轉插頭方向

### DisplayPort 汲極裝置 (UFP\_D) 針腳分配 D

DisplayPort UFP\_D 針腳分配 D 類似於 UFP\_D 分配 C，但只有兩個最低的 DisplayPort 通道映射到 USB-C 連接器。針腳分配 D 的 DisplayPort 電氣規範必須符合 DisplayPort 系統標準，支援系統所允許的位元速率，包括 UHBR 20、UHBR 13.5、UHBR 10、HBR 3、HBR 2、HBR 或 RBR。通訊協定在 DisplayPort 標準中有明確定義。針腳分配 D 僅適用於 USB-C 至 USB-C 被動式與主動式纜線，以及具 USB-C 插頭的 DisplayPort 汲極裝置。USB4 不支援 UFP\_D 分配 D。

### DisplayPort 汲極裝置 (UFP\_D) 針腳分配 E

對於 UFP\_D 針腳分配 E，[圖 29](#) 和 [圖 30](#) 定義了重新配置針腳以支援正常和翻轉插頭方向的 DisplayPort 時，USB-C 接頭針腳的使用和設定。針腳分配 E 的 DisplayPort 電氣規範必須符合 DisplayPort 系統標準，支援系統所允許的位元速率，包括 UHBR 20、UHBR 13.5、UHBR 10、HBR 3、HBR 2、HBR 或 RBR。針腳分配 E 僅適用於可接受 USB-C 至 DisplayPort 被動式與主動式纜線插頭的插座，以及此類纜線上的插頭。在分配 E 中，主鍊路通道順序、極性和輔助極性恰與分配 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 針腳分配 E 正常插頭方向

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 針腳分配 E 翻轉插頭方向

## USB4

- **USB4 概覽**
- **USB4 探索與進入流程**
- **USB4 系統**
- **邊帶通訊**
- **USB4 線路和資料速率**
- **損失預算**
- **透過 SBU1 和 SBU2 同時支援 DisplayPort 替代模式與 USB4**



## USB4 概覽

作者：Mike Campbell

USB4 標準可提供比前幾代 USB 更高的頻寬。2019 年推出的 USB4 版本 1 使用 USB Type-C® (USB-C®) 介面，可將匯總頻寬從 USB 3.2 規範中定義的 20Gbps 增加至 40Gbps。2022 年，USB Implementers Forum (USB-IF) 推出 USB4 版本 2，將對稱運作的速度提升至 80Gbps，非對稱運作的速度則提升至 120Gbps。得益於高頻寬，USB4 能夠在相同的實體介面上傳輸多種獨立通訊協定，例如快捷外設互聯標準 (PCIe)、USB3 和 DisplayPort™。USB4 僅支援 USB-C，並向下相容於 USB2 和 USB3.2 標準，同時也向下相容於 Thunderbolt 3，讓使用者能繼續使用現有產品。

## USB4 探索與進入流程

USB4 與前幾代 USB 截然不同。在 USB-C 系統中，USB2 或 USB3.2 產品無需 USB 電力輸送 (PD) 即可運作。例如，如果將 USB2 隨身碟插入不支援 USB PD 的 USB-C 連接埠，仍然可以像將插入 USB Type-A 插座一樣正常使用該隨身碟。

若要活用 USB4 產品的所有功能，則必須搭配 USB PD。在探索過程中，如果埠夥伴和以及纜線都支援 USB4，則下行埠 (DFP) 會向纜線和埠夥伴傳送 USB PD Enter\_USB 訊息。如果將 USB4 產品插入不支援 USB PD 的 USB-C 連接埠，則 USB4 產品將以傳統 USB 模式 (USB2 或 USB3.2) 執行。

## USB4 系統

USB4 系統包括一台主機、集線器裝置，週邊設備和擴充站，每個系統都包含一台路由器。路由器將隧道協議通訊映射到 USB4 封包，並透過 USB4 結構路由封包。[圖 31](#) 展示了 USB4 主機、集線器和裝置的方塊圖。

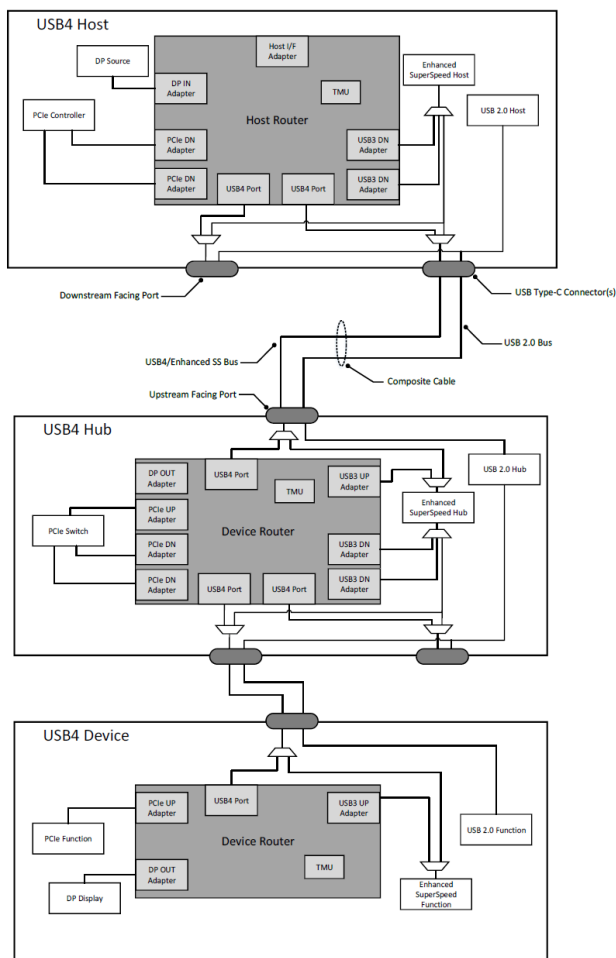


图 31. USB4 主機、集線器和裝置

主機包含主機路由器、USB 主機控制器 (USB3.2 和 USB2) 和 DisplayPort 源極。主機可以有多个 DFP。如果支援 PCIe 隧道傳輸，主機可以選擇合併 PCIe 控制器或 PCIe 交換機。在主機中還運行著連接管理器軟體，用於枚舉，配置和管理整個 USB4 網域。图 32 更詳細地介紹了 USB4 集線器的運作模式。

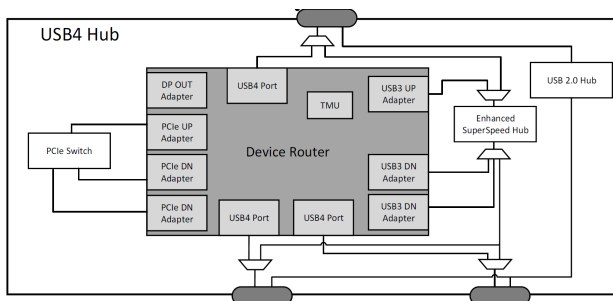


图 32. USB4 集線器

集線器有一個上行埠 (UFP)，並且與主機一樣可以有多个 DFP。集線器路由器支援 USB2、USB3、PCIe 交換機和 DisplayPort™ 隧道傳輸。图 33 更詳細地介紹了 USB4 的週邊裝置。

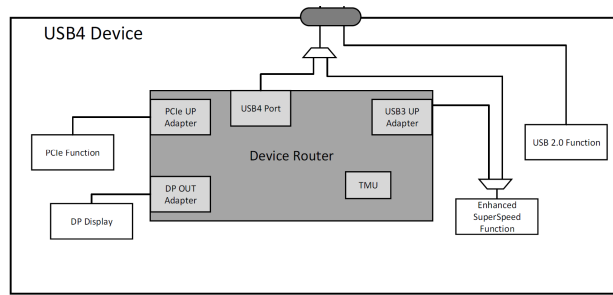


图 33. USB4 週邊裝置

週邊裝置具有單一 UFP 且無 DFP，並可選擇包含一個或多個強化型 SuperSpeed 集線器、強化型 SuperSpeed 功能、PCIe 交換器或端點，或者 DisplayPort 源極或汲極功能。图 34 更詳細地介紹了 USB4 的擴充站

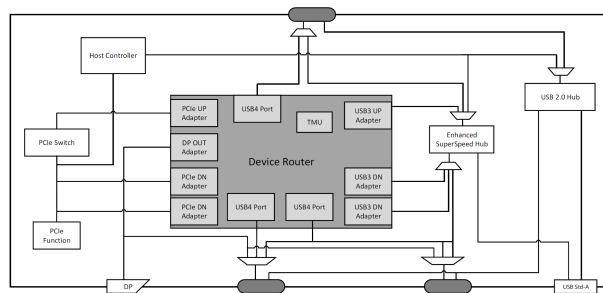


图 34. USB4 擴充站

USB4 擴充站類似於具有單個 UFP 和一個或多個 DFP 的 USB4 集線器。與 USB4 集線器不同，擴充站包含一個或多個通訊協定轉接器，如 DisplayPort。

所有 USB4 組件都使用 USB-C 被動或主動纜線連接，形成一個以主機為頂點的生成樹結構，集線器位於樹的中間，週邊設備位於樹的末端。主機和週邊路由器之間最多可以有五枚集線器。所有這些產品都使用邊帶通道進行配置。

### 邊帶通訊

邊帶通訊是使用 3.3V 低電壓互補式金屬氧化半導體 (LVCMOS) 級 1Mbps 通用非同步收發傳輸器 (UART) 執行，該發射器包含 10 位元，分別為：1 起始位元、8 位元資料裝載及 1 停止位元。邊帶交易透過 SBTX 針腳傳輸並從 SBRX 針腳接收，使用 USB-C 插座的 SBU1 和 SBU2 針腳。邊帶通訊的用途如下：

- 判斷連接埠是否已連接 (SBRX 高電位 > 25 $\mu$ s) 或已斷開 (SBRX 低電位 > 14 $\mu$ s)。
- 識別路由器製造商和產品資訊。
- 配置 USB4 鏈路的參數，例如資料速率 (Gen2、Gen3、Gen4)，以及啟用或停用通道。
- 非對稱支援、啟動和決策。
- 發射器前饋等化鏈路訓練握手以及判斷路由器是否鎖定。



## USB4 線路和資料速率

USB4 Gen2、Gen3 和 Gen4 支援最多兩條線路 (線路 0 和線路 1)，每條線路包含一條傳輸路徑 (TX) 和一條接收路徑 (RX)。USB4 版本 2 在 USB4 Gen4 運作時允許非對稱運作。在不對稱運作中，線路 0 保持不變，但線路 1 會分成兩條線路 (線路 1 和線路 2)，二者都可設定為 TX 或 RX。在非對稱模式下運作的 USB4 Gen4 連接埠具有一個 TX 和三個 RX，或者三個 TX 和一個 RX，可實現 120Gbps 的資料速率。表 11 統整出了所有 USB4 世代及其對應的線路與資料速率功能。

表 11. USB4 資料速率

	啟用的線路	總資料速率 (Gbps)
USB4 Gen2	1	10
	2	20
USB4 Gen3	1	20
	2	40
USB4 Gen 4 對稱	2	80
USB4 Gen4 不對稱	3	120

## 損失預算

從路由器到 USB-C 插座，所有 USB4 產品都必須將插入損失保持在規範定義的損失預算內。下表詳細列出了 USB4 的預算。

表 12. USB4 的 USB Type-C 插入損失預算

	主機 (dB)	纜線 (dB)	裝置 (dB)	總計
USB4 Gen 2	5.5	12	5.5	5 GHz 時為 23dB
USB4 Gen 3	7.5	7.5	7.5	10 GHz 時為 23dB
USB4 Gen 4	9.5	9.5	9.5	12.8 GHz 時為 28.5dB

(1) USB4 Gen2 支援最長達 2 公尺的 USB-C 被動纜線。USB4 Gen3 和 USB4 支援最長 0.8 公尺的被動式 USB-C 纜線。

在某些情況下，因為路由器和 USB-C 插座之間的插入損失過大，所以必須使用稱為「重定時器 (RT)」的訊號調節器來克服這項問題。根據 USB4 規範，路由器和 USB-C 插座之間最多可使用兩枚重定時器。USB4 規範允許使用線性轉接驅動器 (LRD) 替代第二枚重定時器，安裝於靠近 USB-C 插座的重新定時器和路由器之間。圖 35 中顯示了不同使用案例中的幾種範例。

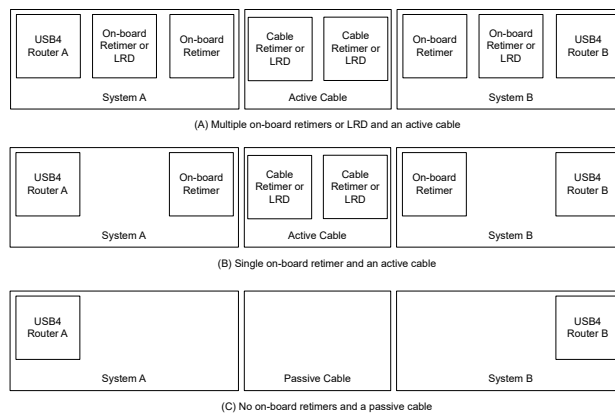


圖 35. 可行的系統與纜線使用案例

使用案例 (A) 和 (B) 顯示了在系統和主動纜線中使用 RT 或 LRD 的情況。使用案例 (C) 則顯示了系統或纜線中不使用訊號調節器的情況。

在纜線中使用 RT 或 LRD 等訊號調節器的目的，是將 Type-C 纜線延伸至銅線等被動元件無法觸及的長度。這類纜線稱為主動纜線，並在 USB-C 規範中有明確定義。

### 透過 SBU1 和 SBU2 同時支援 DisplayPort 替代模式與 USB4

USB4 主機必須能夠支援傳統 USB 產品以及 DisplayPort 替代模式產品，例如 USB-C 擴充站。為了支援這兩種類型的產品，主機需要在 USB-C SBU1 和 SBU2 針腳上多工處理 USB4 邊帶 (SBTX 和 SBRX) 和 DisplayPort 邊帶 (AUXP 和 AUXN)。

圖 36 透過範例說明了在 SBU1 和 SBU2 多工處理 USB4 和 DisplayPort 邊帶訊號的方式。

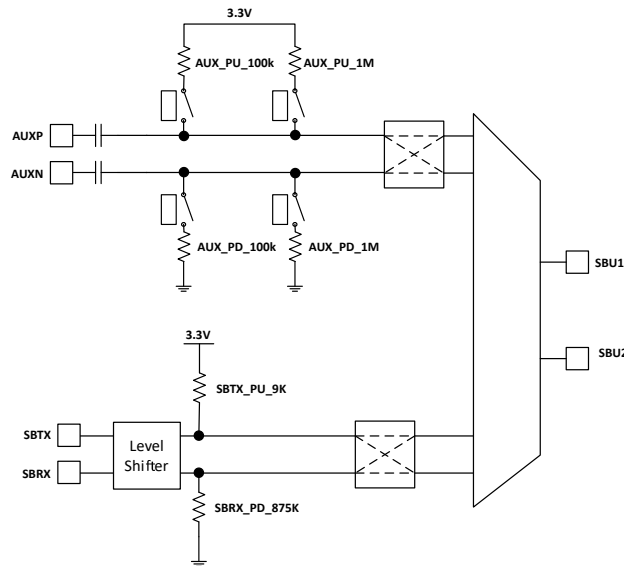


圖 36. USB4 和 DisplayPort 邊帶多工處理

圖 36 顯示了 DisplayPort 規格所需的輔助偏壓，以及 USB4 規範所需的 SBTX 上拉電阻器和 SBRX 下拉電阻器。表 13 則列出這些電阻器以供參考。如果 USB4 路由器或重定時器不支援 USB-C 插座中存在的 3.3V LVCMOS 電平，則可能需要 SBRX 和 SBTX 上的電平移位器。圖 36 中的部分或所有元件可能內建於重定時器或離散邊帶多工器。

表 13. USB4 及 DisplayPort 上拉和下拉電阻器

參數	最小值 (kΩ)	最大值 (kΩ)
SBTX 上拉電阻器	7	10.5
SBRX 下拉電阻器	700	1050
DisplayPort 源極 AUXP 下拉電阻器	10	105
DisplayPort 源極 AUXN 上拉電阻器	10	105
DisplayPort 汲極 AUXP 上拉電阻器	800	1,200
DisplayPort 汲極 AUXN 下拉電阻器	800	1,200

## eUSB2 簡介

- 摘要 ·
- eUSB2 概覽 ·
- eUSB2 模式 ·
- 其他功能 ·



## 摘要

作者：Nicholaus Malone

如前幾章所述，USB 3.2 和 4.0 規範允許透過 USB 匯流排進行高速資料傳輸。USB Type-C® (USB-C®) 連接器上的 SuperSpeed 線路支援這些較新的資料傳輸速率；不過，USB-C 連接器上的 D+ 和 D- 線路仍支援 2000 年推出的原始 USB 2.0 規範。

儘管最大速度僅有 480Mbps，但其可靠性和與許多 USB 裝置的互通性，讓 USB 2.0 成為全球最受歡迎的介面之一。USB 2.0 在所有具 3.3V 振幅的現代介面中，擁有最高的訊號位準，這可能會在部分現代應用中造成技術挑戰。較高的電壓可能會損壞技術節點中的氧化物介電層厚度為 7nm 及以下的金屬氧化層。因此，USB Implementers Forum 在 2014 年推出了 USB 修訂版 2.0 規範的嵌入式 USB 2.0 (eUSB2) 實體層 (PHY) 補充說明，以解決此問題。eUSB2 規範可讓 USB 2.0 使用低電壓訊號通訊，避免損壞敏感元件。

## eUSB2 概覽

eUSB2 規範的建立帶來了許多傳統 USB 2.0 無法提供的功能：

- 製程可擴展性提供了一種低電壓的 USB 2.0 PHY 解決方案，透過消除 3.3V 輸入/輸出 (I/O) 訊號，使 USB 2.0 能夠隨著製程技術節點的縮小而進行擴展。
- I/O 電源效率，可提升鏈路處於活動和閒置狀態時的電源效率。
- 減少 PHY 類比內容，並採用數位機制實現 PHY 功能。
- 支援 USB 2.0 裝置 – 雖然 eUSB2 和 USB 2.0 在電氣上不相容，但規範定義了一種機制來實現對 USB 2.0 的支援。

eUSB2 只是 PHY 的補充規範，意即 eUSB2 的電氣參數與 USB 2.0 不同。然而兩者卻共用相同的通訊協定層規範。eUSB2 的封包架構與 USB 2.0 相同，並支援相同的低速、全速和高速標準資料傳輸速率。不過，如先前所述，訊號電壓位準降低了。低速與全速通訊的電壓從 3.3V 降至 1.2V 或 1.0V，高速差動擺幅則只有 USB 2.0 的一半。USB 2.0 與 eUSB2 介面間的相似性有助於簡化實作過程，但不同的訊號層級會造成與傳統 USB 2.0 裝置的互通性問題。在原生模式下，eUSB2 裝置只能與另一個 eUSB2 裝置通訊。

## eUSB2 模式

eUSB2 裝置間的主要通訊模式有兩種，分別是原生模式和中繼器模式。在 eUSB2 中，負責傳遞電氣資料訊號的兩個通道是 eD+ 和 eD-。主機 (Host) 的 eD+ 和 eD- 通道在原生模式下會直接連接至 eUSB2 週邊設備的收發器。兩個 eUSB2 收發器彼此直接通訊，如圖 37 所示。

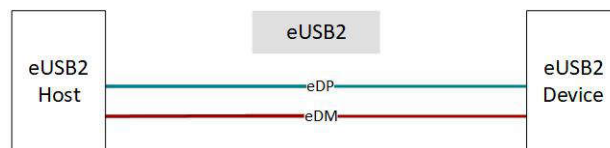
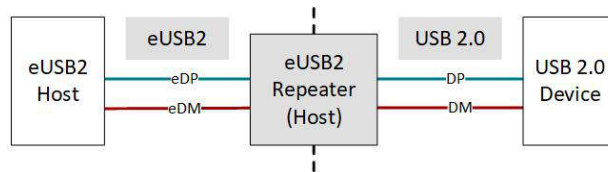


圖 37. 原生模式

原生模式主要用於晶片之間互相連線，不支援與 USB 2.0 裝置的互通性。如果需要支援 USB 2.0 通訊，eUSB2 規格會定義 eUSB2 中繼器以實現向下相容性。

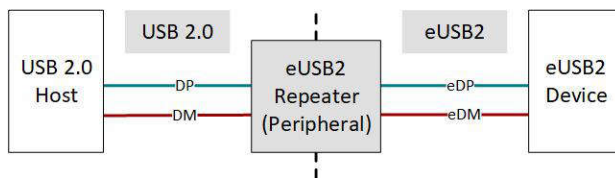
eUSB2 中繼器是一種可在 eUSB2 和 USB 訊號之間「轉換」的裝置。透過它，即可在 eUSB2 與 USB 2.0 裝置間進行通訊。與 USB 2.0 不同，eUSB2 低速與全速通訊採用單端訊號傳輸。從差動訊號切換至單端訊號，代表 eUSB2 中繼器不僅僅是 3.3V 至 1.2V 電壓位準移位器。

eUSB2 中繼器必須能夠配置為主機中繼器或週邊設備中繼器。配置中繼器可建立其在 USB 架構中的角色。每個 USB 總線只允許一個 eUSB2 主機。如果 eUSB2 中繼器透過 eUSB2 介面連線至主機，則主機會將其配置為主機中繼器，如 **圖 38** 所示。配置完成後，eUSB2 主機即可與透過中繼器連接的下游 USB 2.0 裝置進行通訊。



**圖 38.** 主機中繼器模式

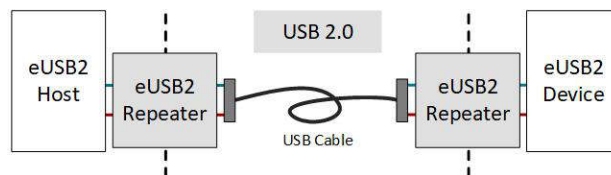
與 USB 主機不同，USB 總線中可以有多個週邊設備。每個 eUSB2 週邊設備若要與 USB 2.0 主機通訊，則必須配置為週邊設備中繼器，如 **圖 39** 所示。



**圖 39.** 週邊設備中繼器模式

由於 eUSB2 中繼器能夠動態配置為主機或週邊設備中繼器，因此可用於雙重用途應用，其中連接的 eUSB2 裝置可充當主機或週邊設備。雙重用途功能通常用於行動應用程式。

除此之外，也可在單一 USB 2.0 連結中同時囊括 eUSB2 主機與 eUSB2 週邊設備。在必須使用 USB 纜線的應用中，主機和週邊設備可能都需要中繼器。eUSB2 介面是專為晶片間互連設計，並不相容於 USB 纜線。假設主機和週邊設備均支援 eUSB2，可能導致背對背中繼器應用，如 **圖 40** 所示。



**圖 40.** 背對背中繼器應用

這在行動電子產品中最為常見，因為筆記型電腦、手機或平板電腦通常具備雙重用途能力。中繼器可讓 eUSB2 主機和 eUSB2 週邊設備透過 USB 纜線使用 USB 2.0 介面相互通訊。

## 其他功能

eUSB2 中繼器必須響應控制訊息，這些訊息是用於在配置後控制中繼器狀態機的 eUSB2 訊號模式。控制訊息不用於原生模式，但 CM.RAP 是一個顯著的例外。這些訊息不會被轉發至 USB 2.0 匯流排，只能由 eUSB2 中繼器或週邊設備接收和解釋。

暫存器存取協定 (RAP) 是 eUSB2 中推出的選用功能，用於進一步簡化實作。如表 1 所示，CM.RAP 是用於存取 RAP 介面的控制訊息。配置時，通常會使用 I<sup>2</sup>C 介面。作為替代，RAP 可直接透過 eUSB2 存取 eUSB2 中繼器或週邊設備的暫存器空間，而無需實作獨立的 I<sup>2</sup>C 介面。這個供廠商定義的暫存器空間可以透過傳送 CM.RAP 命令以及操作數和目標暫存器位址來進行修改。RAP 可讓系統設計人員排除 I<sup>2</sup>C 通訊通常所需的元件和通用 I/O 接腳，進而減少系統成本和體積。

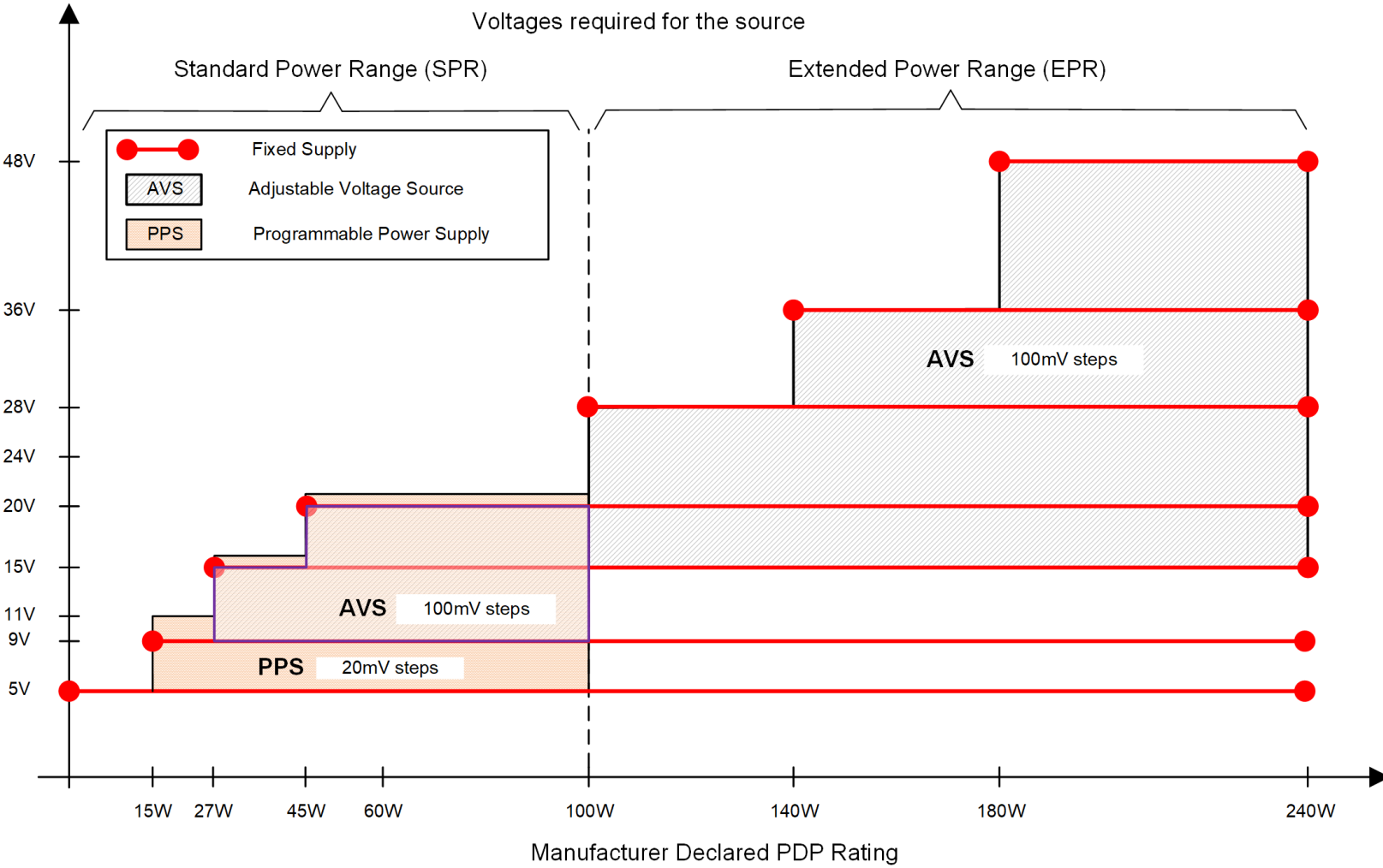
表 14. eUSB2 控制訊息

控制訊息名稱	說明
<b>CM.FS</b>	恢復為全速終端
<b>CM.L1</b>	進入 L1 電源狀態
<b>CM.L2</b>	進入 L2 電源狀態
<b>CM.Reset</b>	USB 2.0 匯流排重設
<b>CM.Test</b>	強制啟用高速終端
<b>CM.RAP</b>	啟動 RAP 存取

儘管 eUSB2 主機、裝置和中繼器仍是相對較新的介面，但隨著現代處理器技術節點持續縮減至 7nm 以下，其使用率預計將繼續成長。

# 延伸功率範圍 (EPR)

- 摘要
- 何謂 EPR?
- 技術規格
- 安全性考量 >100W
- 處理與 TI PD 控制器的電源協商
- 結論



## 摘要

作者：Taylor Vogt、Adam McGaffin

在本節中，我們將重點介紹使用 USB-C® 介面實現更高功率應用的最新發展。2021 年 USB Implementers Forum (IF) 在 USB 電力傳輸 (PD) 3.1 規範 [CCH1] 中新增了延伸功率範圍 (EPR)，將 USB-C 連接器的最大功率從 100W 提升至 240W。我們將首先介紹 EPR 的基礎知識及其與標準 USB-C 的區別，隨後詳述其技術規範以及電源協商過程的完整序列

## 何謂 EPR？

直到最近為止，USB PD 3.0 規範都允許在經核准的 USB-C 連接埠和纜線上雙向供電和傳輸資料，最大功率位準達到 100W (20V、5A)。最新的 USB PD 3.1 規範可透過 USB-C 纜線將此限制上調至 240W (48V/5A)。

之前的 USB PD 範圍被稱為標準功率範圍 (SPR)，而新的功率範圍 (100W 至 240W) 則稱為 EPR。如此將可大幅改善其應用範圍，讓需要大量耗電的裝置得以採用 USB-C 介面。此外也有可能減少笨重的高功率轉接器數量，轉而使用單一的 USB-C 纜線。**表 15** 展示了新 EPR 與原始 SPR 的比較。

表 15. SPR 和 EPR 固定電壓範圍

功率範圍	可用電流與電壓	PDP 範圍	附註
標準功率範圍 (SPR)	3A : 5 V、9 V、15 V、20 V 5A <sup>(1)</sup> : 20V	15 至 60W >60 至 100W	
延伸功率範圍 (EPR)	3A <sup>(2)</sup> : 5 V、9 V、15 V、20 V 5A <sup>(2)</sup> : 20V 5A <sup>(2)</sup> : 28V、36V、28V	15 至 60W >60 至 100W >100 至 240W	需要進入 EPR 模式。

- (1) 需要 5A 纜線。  
(2) 需要 EPR 纜線。

## 技術規格

EPR 允許支援高達 240W 的功率 (5A 時為 28V、36V 和 48V)。EPR 模式對汲極裝置評估和回應新來源功能訊息的要求與典型 USB PD 合約協商中的要求相同。進入 EPR 模式後，連接埠就會協商最高 240W (48V，5A) 的電力輸送物件 (PDO)。此處的 48V 代表在考慮設計安全容限時的實際限制。

在擴展功率範圍內，除了固定電壓位準擴展外，電源供應也必須遵循可調整電壓供應 (AVS) 的規範。在 EPR 模式中，AVS 讓汲極能夠以 100mV 為步進，在 9V 和 48V 之間微調最佳電壓，以提升性能和熱效率，並為汲極提供可從任何充電器接收電壓的靈活性。如此一來，設計人員便可省去自訂轉接器，並為其電子生態系統打造一致的使用者體驗。可編程電源供應器 (PPS) 與 AVS 類似，但其步進為 20mV，範圍介於 5V 到 20V 之間。雖然兩者相似，但不適用於相同的使用案例。PPS 需要電流限制 (50mA 步進、±5)，而 USB-IF 認證的充電器則不需要包含 PPS 功能。USB-IF 認證了將帶有 PPS 的充電器標記為「快速充電器」，而不帶 PPS 的則標記為「充電器」。

**圖 41** 顯示了 SPR 和 EPR 功率位準之間的關係，以及 AVS 和 PPS 如何與這些功率範圍重疊。



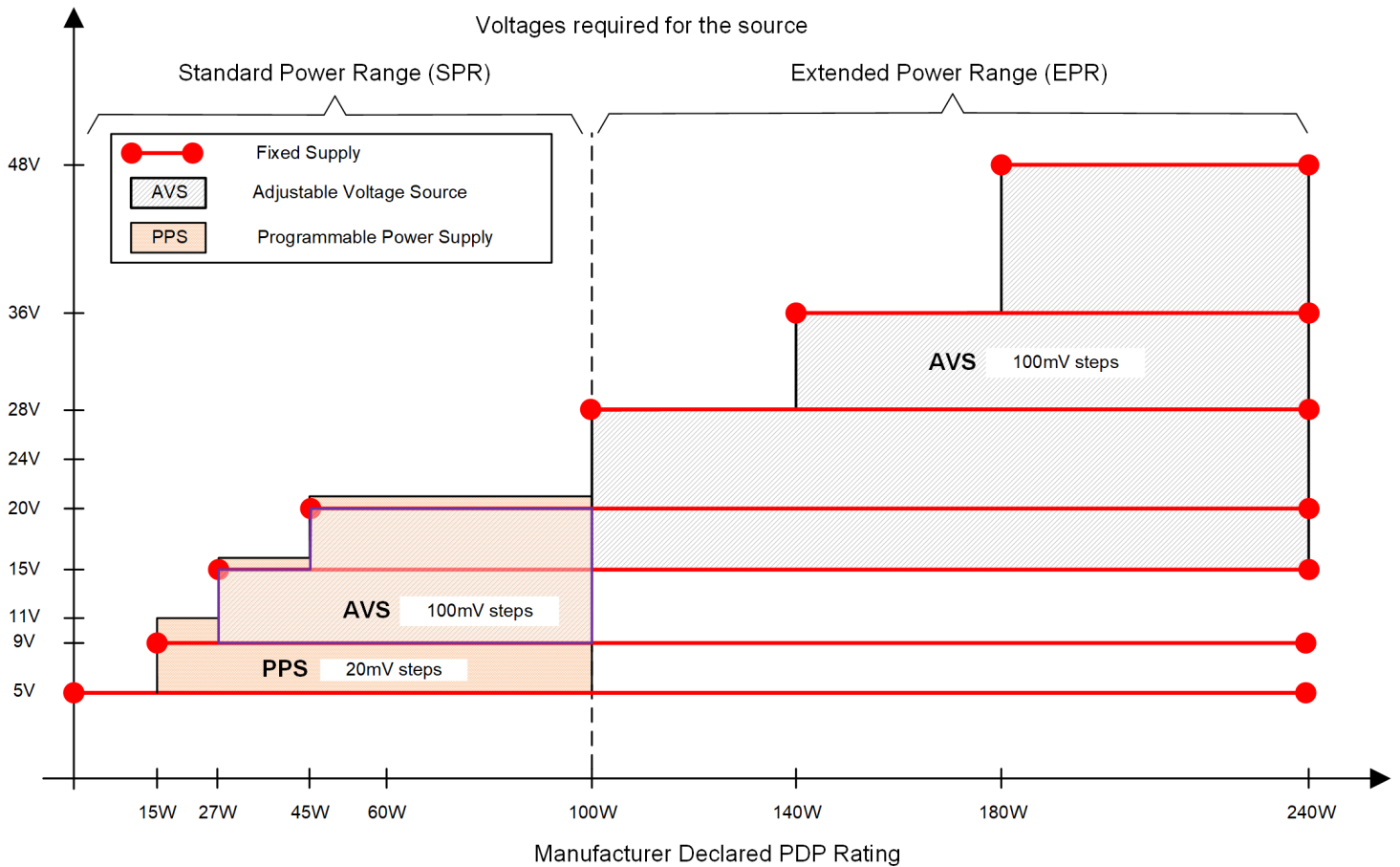


圖 41. AVS 和 PPS 在 SPR 和 EPR 的範圍

### 安全性考量 >100W

除了供電端和源極需求外，使用超過 100W 的應用時還需要額外的機制以滿足安全標準。具體而言，纜線上需要額外要求以支援 EPR。相容於 EPR 的纜線不再是選配，而是必須使用如圖 42 所示的標誌進行標記。消費者可以透過纜線上的標誌安全識別其是否支援高達 240W 的電力。一般而言，這代表纜線設計可能包含額定電壓較高的旁路電容器及額外的緩衝器電路，以減少在較高電壓下較可能發生的瞬態與振鈴現象。這也代表 5A 級纜線將逐漸被淘汰。最終 USB-IF 將不再認證原有的 20V/5A 纜線。此決策將使市場邁向所有 5A 纜線均具備 EPR 能力的狀態，並減少消費者對佈線問題的疑慮。這些纜線在使用 USB-IF 認證 USB PD 控制器的情況下，與舊款 USB 生態系統設備保持向下相容。

**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™ 200bps 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 認證標誌計畫

在超過 100W 的應用中，進入 EPR 模式之前需要強調對合約接受的限制。新握手協議的目的是保證握手過程中的單一錯誤不會導致 EPR 合約的生成 (以滿足安全監管要求)。這種新的握手協議可確保傳統汲極裝置不會意外請求 EPR 合約。

**處理與 TI PD 控制器的電源協商**

EPR 電源協商與現今的 USB PD 序列相似，包括提案、請求、接受或拒絕等步驟。然而在進入 EPR 合約之前，必須先建立 SPR 合約。新的 EPR 協商過程包括發現以下步驟：確認纜線是否支援 EPR；確認源極是否可以提供延伸功率位準。图 43 顯示了常規合約握手流程的示例。

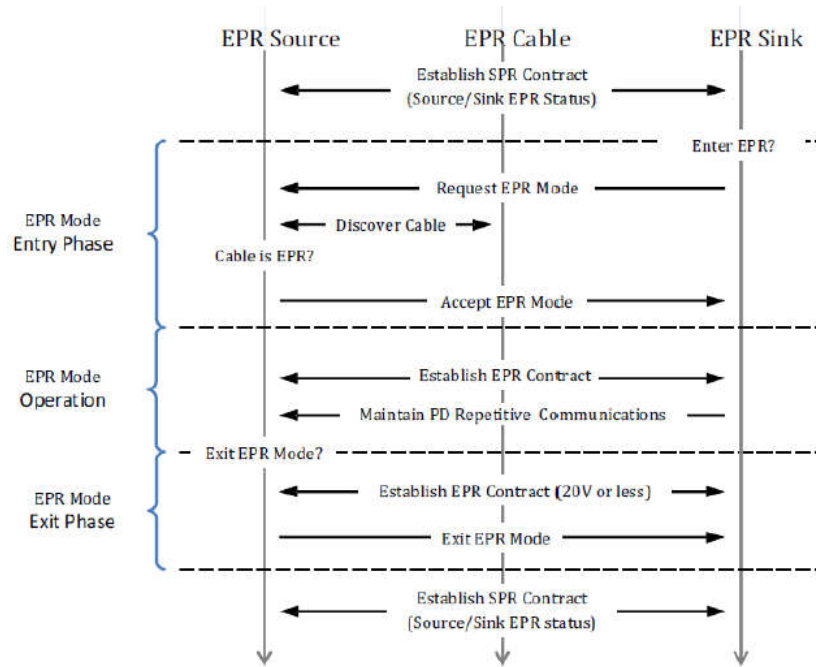


图 43. EPR 協商序列

汲極側主導進入 EPR 模式的流程。如果汲極側並未先發出請求並引導進入此模式，則源極側無法強制啟動 EPR 模式。在進入 EPR 模式後，源極會驗證汲極和纜線是否具備 EPR 支援能力，然後才提供延伸電壓。為了進行驗證，來自汲極端的 EPR 要求訊息會包含一份 PDO 複本，用於確認其功能並檢查纜線和汲極是否支援 EPR。進入 EPR 模式後，汲極約每半秒

必須傳送一次「保持活動」訊息，以確認雙方連接正常且處於活動狀態。如果源極在約一秒內未收到此消息，則會啟動硬重設，切換至預設的 SPR 模式，並提供 5V 電壓。

TI 與 USB-IF 密切合作，確保這項新技術的安全性。為了協助驗證新 EPR 協商程序的安全性，多位功能安全專家對 240W 功能進行了獨立審核。最重要的是，在進入 EPR 模式前，源極無法提供 EPR 中所允許的電壓。EPR 要求使用新定義的 USB PD 訊息，按照特定的序進行協商，以成功達成超過 20V 的 USB PD 合約。同時，確保不會因單一訊息錯誤而導致協商電壓超過 20V。

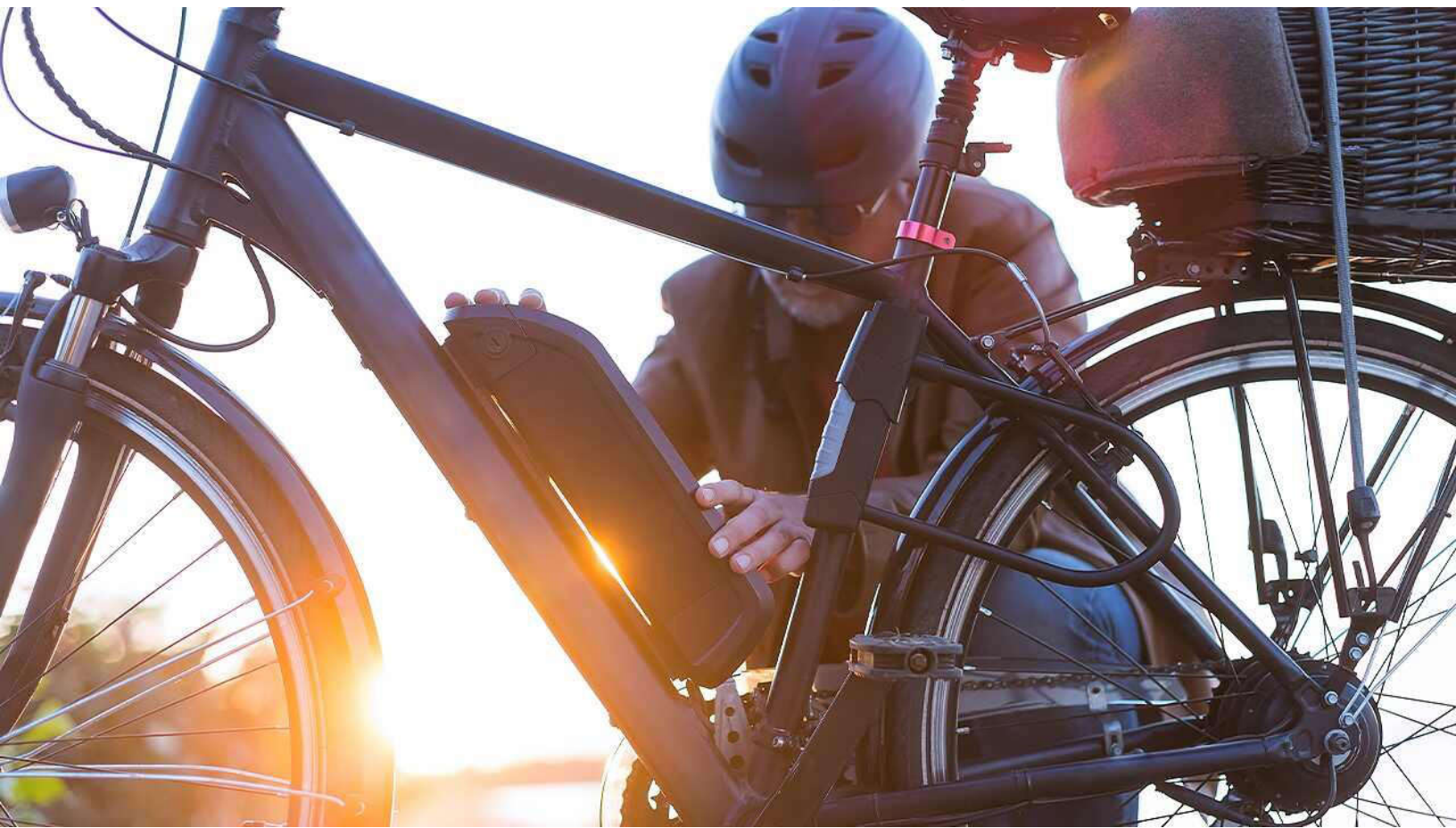
有關新 EPR 協商序列的其他詳細資訊，請見 [USB-PD 規範](#)。

## 結論

EPR 是 USB-C 生態系統內一項標誌性的新產品。電壓位準的範圍擴大後，可實現更高功率的應用，進而拓展 USB-C 介面的使用情境。雖然在新佈線規格和電源路徑設計方面存在一些挑戰，但以結果而言，其靈活性和向下相容性應能為 USB-C 介面的普及化奠定堅實的基礎。

## USB Type-C® 及 USB 電力輸送常見使用案例和方塊圖

- 5V USB-C 僅供電埠 (無 USB PD) •
- 基本功能模組 •
- 具備 USB 3.0 資料傳輸功能的 5V USB-C 僅供電連接埠 (無 USB PD) •
- 5V USB-C 僅受電連接埠 (無 USB PD) •
- 5V USB-C DRP (無 USB PD) •
- 具備 USB PD 的 20V USB-C 僅供電連接埠 •
- 具備 USB PD 的 20V USB-C 僅受電連接埠 •
- 具 USB PD 和 DisplayPort™ 替代模式的 5V 源極、20V 汲極 USB-C 連接埠 •
- 具備 USB PD 和電池充電器的 20V USB-C DRP •



## 5V USB-C 僅供電埠 (無 USB PD)

作者：Eric Beljaars、Adam McGaffin

將傳統 USB Type-A 連接埠轉換為 USB-C 連接埠時，產品可獲得更纖薄的雙向連接器設計以及更高的輸出功率。標準 USB-C 源極連接埠最高可支援 15W (3A 時為 5V)。但也有多種解決方案可提供 5V、1.5A 功能。

### 基本功能模組

在配置通道 (CC) 線路上呈現上拉或下拉電阻器，即可建立 USB-C 連線。USB-C 僅供電連接埠需要在 CC 線路上安裝上拉電阻器，又稱為  $R_p$ 。 $R_p$  值將根據希望傳達的電流大小而有所變化。USB-C 僅供電連接埠支援的最常見電流位準為預設 USB 電源 (適用於 USB2 的 500mA 及 USB3 的 900mA) 1.5A 與 3A。USB Type-C 規範的終端參數章節列出了每個電流值對應的  $R_p$  電阻值。

一般而言，在設計 5V USB-C 僅供電連接埠的系統時，CC 控制器 IC 將自動確保在 CC 線路上呈現正確的  $R_p$  值。

除了在 CC 線路呈現  $R_p$  外，5V USB-C 僅供電連接埠還需要防止不符合規範的汲極裝置消耗超過協商電流的情況。舉例來說，當呈現 3A  $R_p$  時，連接的汲極裝置必須確保其電流消耗不超過 3A。雖然汲極有責任確保自身不會超出協商的電流位準，但若出現不符合規範的汲極裝置消耗超過協商電流的情況，實際上是由源極裝置負責過電流保護。

執行此電流限制的方式有幾種。舉例來說，您可以設計具備電流測量功能的獨立電源路徑，或使用內建電流限制功能的負載開關。最簡單的方式是使用內建電源路徑的 CC 控制器，以確保根據顯示的  $R_p$  值自動執行電流限制。

設計 5V USB-C 僅供電連接埠需要兩個關鍵模組，分別是 CC 控制器和 5V 負載開關。請參閱 [圖 44](#)。

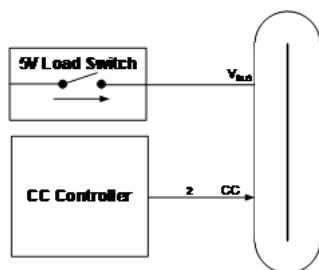


圖 44. 5V 僅供電方塊圖

### 具備 USB 3.0 資料傳輸功能的 5V USB-C 僅供電連接埠 (無 USB PD)

在 5V USB-C 僅供電連接埠上執行 USB 3.0 資料速率需要新增一個系統模組，也就是 USB 3.0 多工器。USB 3.0 使用 USB-C 連接器的 SSTX 和 SSRX 針腳。為了將正確針腳路由至系統內的 USB 3.0 實體層 (PHY)，由 CC 控制器掌控的多工器會處理 USB-C 連接器的雙向翻轉。CC 控制器具有通用輸入/輸出 (GPIO)，用於指示 CC 極性。來自 CC 控制器的這個 GPIO 輸出會連接至多工器極性控制輸入。

除了需要多工器，還需要一個支援 USB 3.0 資料傳輸的 USB-C 連接埠來支援  $V_{CONN}$ ，因為 USB 3.0 纜線通常包括 e-marker 或主動轉接驅動器，這些元件需由  $V_{CONN}$  供電。請注意， $V_{CONN}$  是透過未使用的 CC 接腳提供的。儘管可以透過其他負載開關或電源路徑單獨實施  $V_{CONN}$ ，但新增  $V_{CONN}$  功能的最簡單方法是使用內建  $V_{CONN}$  電源路徑的 CC 控制器，如 [圖 45](#) 所示。

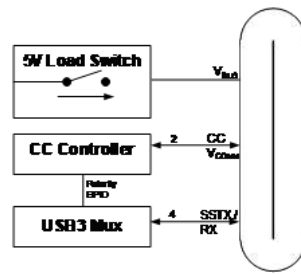


圖 45. 5V 源極與 USB3 多工器方塊圖

以任何方向支援 USB 3.0 資料時，支援  $V_{CONN}$  及包含 USB 3.0 多工器的需求仍維持不變。USB 3.0 多工器的類型會有所不同，具體取決於您需要的是上行埠還是下行埠。但是，CC 控制器和 USB 3.0 多工器之間的 GPIO 介面保持不變 (以單一 GPIO 表示極性)。由於這些階層式需求相同，接下來有關「不支援 USB PD 的 5V USB-C 僅供電連接埠」的章節將集中討論電力架構的差異。

### 5V USB-C 僅受電連接埠 (無 USB PD)

若要設計最高可承接達 15W 電力的 USB-C 連接埠，其結構可能會與僅供電解決方案大相逕庭，這取決於 USB-C 連接埠所連接的系統特定需求。一般而言，如果採用的是 USB-C 僅受電連接埠，整個系統可能會完全依靠從該 USB-C 連接埠流入的電力供應。

在設計 5V USB-C 僅受電連接埠時，某些情況下只需在 CC 線路上使用兩個  $R_d$  電阻即可完成。在其他情況下，所需的模組看起來與 5V USB-C 僅供電連接埠實作幾乎相同。對解決方案影響最大的兩個變數是  $V_{BUS}$  上的電容值，以及是否需要支援 USB 3.0 資料傳輸。

在最簡單的狀態下，只要將  $R_d$  電阻器 ( $5.1k\Omega$ ) 接到 USB-C 連接器的每個 CC 針腳上，就能啟用 5V USB-C 僅受電連接埠。然而，此方法只有當  $V_{BUS}$  上的電容值低於  $10\mu F$  時才可行。如果系統電容超過  $10\mu F$ ，則需要透過電源路徑或負載開關來隔離額外電容，並在建立 USB-C 連線後將之啟用。雖然 USB-C 汲極連線可以透過獨立的方式加以偵測，但最簡單的方法就是使用 CC 控制器。典型 CC 控制器具有 GPIO 輸出，能夠根據連線狀態控制電源路徑。

另一個需要 CC 控制器的情境是有必要支援 USB 3.0 資料傳輸的時候。與僅供電且支援 USB 3.0 資料傳輸的 USB-C 範例相同，此處也需要獨立的 USB 3.0 多工器。為了控制此多工器，很可能需要 CC 控制器。

圖 46 重點說明了應用 5V USB-C 僅受電連接埠所需的各種模組，視  $V_{BUS}$  電容和 USB 3.0 需求而定。

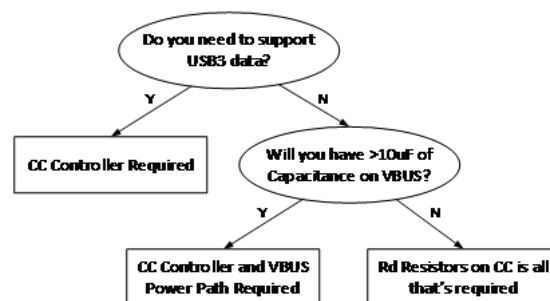


圖 46. CC 控制器選擇

### 5V USB-C DRP (無 USB PD)

如果 USB-C 連接埠必須能夠同時輸出 (源極) 和消耗電源 (汲極)，則必須安裝 USB-C 雙重用途連接埠 (DRP)。同理，您可能需要 CC 控制器以實現此功能。支援 DRP 功能時，CC 線會在建立連接前主動切換為呈現  $R_p$  或  $R_d$  狀態，這稱為 CC 切

換。基本上，如果要將雙重用途連接埠插入 CC 上存在  $R_d$  的僅受電裝置，則 CC 切換會停留在  $R_p$  並建立連線。在連接至僅供電連接埠時，情況則恰好相反。如果將兩個 DRP 連接埠相接，則源極和汲極將隨機分配，具體取決於兩條 CC 線切換後的最終狀態。如果系統需要特定的電源狀態，則最好安裝一個 USB-C 連接埠。在連接到其他 DRP 後，若其處於錯誤的埠角色，則可隨時傳送電源角色或資料角色交換指令以進行調整。

就電源架構而言，DRP 系統可能更適合採用兩條由 DRP CC 控制器控制的獨立電源路徑。在此情況下，系統中的專用 5V 軌會連接至源極電源路徑，而獨立的汲極電源路徑則可連接至電池充電器或其他系統電源軌等元件。請參閱圖 47 中的系統方塊圖。如果需要支援 USB 3.0 資料傳輸，則系統中還要有  $V_{CONN}$  和 USB 3.0 多工器

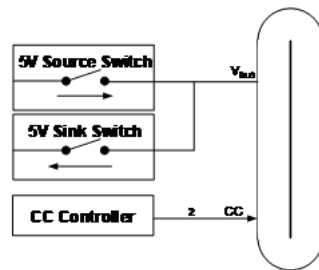


圖 47. 5V 雙重用途連接埠方塊圖

在某些情況下，如果系統電源架構允許，您可能只需要使用一條雙向電源路徑。例如，部分電池充電器支援隨插即用模式，使其具備雙向供電的功能。在這樣的情況下，採用雙向電源路徑是合理的選擇。

### 具備 USB PD 的 20V USB-C 僅供電連接埠

當電力超過 15W 時，需要從標準的 USB-C 控制器升級為 USB PD 控制器。啟用大於 15W 的功率需要埠夥伴之間的 USB PD 協商，以確保兩端都可以支援該電力需求。

多數類型的終端設備 (如 AC/DC 變壓器、擴充站、汽車充電埠與壁掛式插座) 皆可在僅供電實作中提供 20V 電源。任何專為連接裝置供電的產品，都會以這種方式執行 USB PD 系統。雖然這些應用在資料傳輸方面可能有不同的需求，但它們都具有有一個共同點，那就是必須透過 USB-C 纜線提供超過 15W 的電力。

在設計具備 USB PD 的 20V USB-C 僅供電連接埠時，需要考慮一些來自 USB-IF 的規範，這些規範會影響系統級的設計。若為 USB PD 僅供電連接埠，CC 線路  $R_p$  的初始連線及需求與無 USB PD 的 5V USB-C 僅供電連接埠相同。若要使用的電壓超過 5V，則需要進行 USB PD 協商。根據協商獲得的電壓，USB PD 控制器需要調整可變電源的輸出以提供所需的輸出電壓。

USB PD 規範要求輸出電壓必須保持在協商的電源資料物件 (PDO)  $\pm 5$  範圍之內。圖 48 是採用 USB PD 設計的 20V USB-C 僅供電連接埠典型方塊圖。您可以看到設計中引入了 USB PD 控制器，而不再是 CC 控制器，因為進行 USB PD 協商需要使用 USB PD 控制器。此外與 5V 僅供電設計類似，此設計中也包含一個 20V 負載開關。源極側仍需負責管理 USB PD 規格中的過電壓、欠電壓和過電流保護。

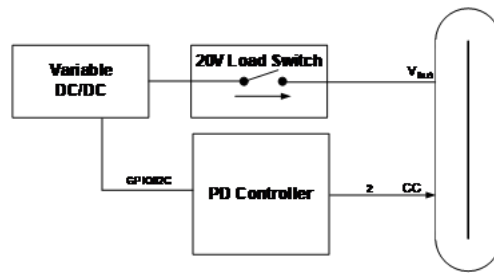


圖 48. 20V USB PD 僅供電方塊圖

USB PD 控制器應根據與連接裝置協商的電壓，控制可變 DC/DC 電源。USB PD 控制器可透過 GPIO 或 I<sup>2</sup>C 來執行此動作。多款 TI USB PD 評估模組都提供範例，展示 USB PD 控制器如何與 DC/DC 電源介面互動以實現此功能。

另一項設計考量則是如何確保所需的 PDO 電壓涵蓋範圍，這取決於 20V USB-C 僅供電連接埠提供的電力。所需的離散電壓位準為 5V、9V、15V 和 20V。電流則可能會根據所需的功率位準 (最高 3A) 連續變化。任何指定的功率位準仍要求源極支援所有前置的電壓和功率等級。例如，60W 源極必須能夠在 3A 時供應 20V、15V、9V 及 5V 電壓。這是 USB PD 規範 3.0 版的一項更新，目的是確保較高功率的供應裝置能支援低功率裝置。

根據系統架構，有可能使用不同的電源配置。舉例來說，對於 AC/DC 壁掛式變壓器，USB PD 控制器通常可直接控制 AC/DC 轉換器的 DC 輸出電壓，進而根據 USB PD 協商確保電壓處於正確電平。針對具備 DC 電壓軌的系統，您可使用降壓 DC/DC 轉換器或降壓或升壓 DC/DC 轉換器。

若要在 USB-C 纜線中支援超過 3A 的電流，還會產生幾個額外的系統級考量。如果您的系統配備可移除 USB-C 纜線的 USB-C 連接埠，則需要在 CC 針腳上提供 V<sub>CONN</sub> 電力。為了支援超過 3A 的電流，所連接的纜線必須能支援超過 3A 的電流。支援超過 3A 的纜線內部會包含一個 e-marker 晶片，該晶片用於儲存纜線的能力資訊。為該 e-marker 提供電力並讀取其內容需要使用 V<sub>CONN</sub>。許多 USB PD 控制器都內建 V<sub>CONN</sub> 電源路徑，並會在 USB PD 協商過程中自動開啟 V<sub>CONN</sub>。

如果採用 USB PD 設計的 20V USB-C 純供電連接埠具有硬接線纜線 (又名固定纜線)，則無需 V<sub>CONN</sub> 即可支援超過 3A 的電流。固定纜線是指不可拆卸的纜線。在這種情況下，您無需擔心如何支援各種不同的纜線，因為您始終知道永久連接的固定纜線的能力。

新增 USB 3.0 資料支援時，請遵循「支援 USB 3.0 資料傳輸的 5V USB-C 僅受電連接埠 (無 USB PD)」章節所述的方法：新增 USB 3.0 多工器以控制系統內 USB 3.0 SuperSpeed 資料接腳的翻轉。

### 具備 USB PD 的 20V USB-C 僅受電連接埠

20V USB-C 僅受電連接埠搭配 USB PD 的設計相對於供電埠更為簡單。根據 USB PD 規範，供電連接埠需要負責管理大多數電源保護措施，並控制纜線上的電壓。受電側則主要以 PDO 形式要求供電側提供電壓或電流，並完成 USB PD 協商。

在此執行方式中，系統可能會從 USB-C 連接埠接收電源。隨著 USB-C 的普及，以及部分國家現在強制採用 USB-C 連接器，過去透過桶式插孔、同軸纜線或其他專有 DC 輸入供電的裝置現在都必須透過 USB-C 連接埠充電。終端設備的範例包括 Wi-Fi® 變壓器、Bluetooth® 喇叭、電動自行車與電動機車等等。

與 5V USB-C 僅受電連接埠類似，USB PD 僅受電連接埠也可能需要實作電源路徑。是否新增加電源路徑取決於 V<sub>BUS</sub> 上的電容值。根據 USB-IF 規範，V<sub>BUS</sub> 上只允許 10μF 的電容值，因此如果您的系統需要更大的電容，則需要新增電源路徑以隔離系統電容與 V<sub>BUS</sub>。



圖 49 是採用 USB PD 設計實作 20V USB-C 僅受電連接埠的基本系統級方塊圖。USB-C 5V 僅受電設計與具有 USB PD 設計的 20V USB-C 僅受電連接埠的主要差異在於負載開關需要擴充至 20V，並且必須使用 USB PD 控制器，而非 CC 控制器。

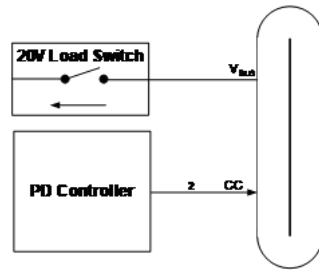


圖 49. 20V USB PD 僅受電方塊圖

同樣的，若需支援 USB 3.0 資料傳輸，也需要加入一枚多工器。

### 具 USB PD 和 DisplayPort™ 替代模式的 5V 源極、20V 汲極 USB-C 連接埠

在筆記型電腦或 PC 實作中，單一 USB-C 連接埠可汲取 USB PD 電壓，為電池充電；提供至少 5V 電壓至滑鼠、鍵盤、快閃記憶體磁碟機等小型連接裝置；連接顯示器。您可以快速了解 USB-C 連接埠所需的功能是何等強大且靈活，能夠滿足終端使用者對特定終端設備的期望。

圖 50 說明了此類系統的電源架構。系統中通常會有獨立的電源路徑：一條用於供應 5V 電壓，另一條則用於汲取高達 20V 的電壓。如果系統中只有一個 USB-C 連接埠，則可以採用單一電源路徑取代兩條獨立的電源路徑。在這種情況下，電池充電器必須具備雙向支援及隨插即用功能。大多數需要 5V 源極、20V 汲極且需支援 DisplayPort 替代模式的系統都會有多個 USB 連接埠。

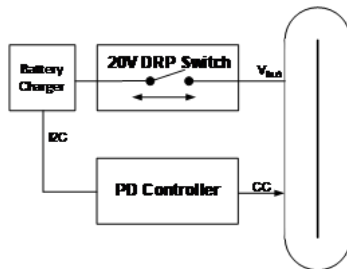


圖 50. 5V 源極、20V 汲極 USB PD 方塊圖

若終端設備有多個 USB 連接埠，則可透過共用的 5V 軌為 USB Type-A 和 USB-C 連接埠提供電源。此款 5V DC/DC 供應器的電源預算需要根據各 USB 連接埠在向連接裝置供應 5V 電壓時支援的最大電流加以計算。

將汲極電源路徑連接至電池充電器，不僅能將電池充電器的電容與  $V_{BUS}$  隔離，還能確保使用者連接 AC/DC 變壓器時，電池充電器可以正常接收電力。

如先前的範例所示，USB PD 控制器會具備整合式電源路徑，或者提供透過 GPIO 控制這些路徑的方法。部分 USB PD 控制器提供 N 通道場效電晶體 (NFET) 閘極驅動器，可直接驅動外部 NFET。

圖 50 還顯示 USB PD 控制器具有供應  $V_{CONN}$  電壓的能力。USB PD 的僅供電設計在超過 3A 電流時需要提供  $V_{CONN}$  電壓。但若要支援 DisplayPort 替代模式的支援，則需要提供  $V_{CONN}$  電壓以判斷纜線的資料傳輸功能，而非供電能力。確認

纜線是否支援 DisplayPort 替代模式至關重要，這點和支援 USB 3.0 資料傳輸的 5V USB-C 僅供電連接埠範例是一樣的。V<sub>CONN</sub> 需要為纜線中的 e-marker 供電，以便讀取其功能資訊。

圖 51 展示了更完整的電源與資料模組方塊圖，用於實現同時支援 5V 源極、20V 汲極、USB PD、DisplayPort™ 替代模式的 USB-C 連接埠。

圖 51 中的最後一個模組是 DisplayPort 替代模式多工器。與先前的情況相同，DisplayPort 替代模式也會使用 USB-C 連接器上的 SuperSpeed 接腳來傳輸影片資料。

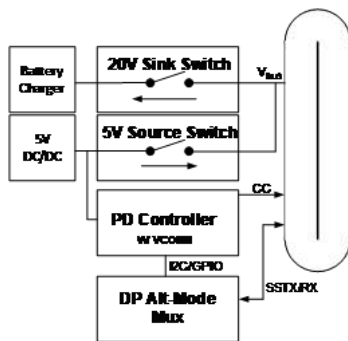


圖 51. 支援 DisplayPort™ 和 USB PD 的 5V 源極、20V 汲極方塊圖

DisplayPort 替代模式包含數種不同的接腳配置，用於安排 SuperSpeed 接腳分布以支援 USB 3.0 或 DisplayPort 影片資料傳輸功能。部分接腳配置會將所有 SuperSpeed 對用於 DisplayPort，進而為 DisplayPort 提供最大頻寬；部分接腳配置則會拆分 SuperSpeed 對，同時支援 USB 3.0 和 DisplayPort 資料傳輸。DisplayPort 規格進一步說明了 USB-C 支援的接腳配置。

DisplayPort 替代模式多工器會根據 DisplayPort 替代模式內協商的針腳分配，將 SuperSpeed 針腳切換至 DisplayPort 主機或 USB 主機。與其他周邊裝置一樣，USB PD 控制器應透過 I<sup>2</sup>C 或 GPIO 與 DisplayPort 替代模式多工器進行通訊，以進行相應的配置。如果埠夥伴也支援 DisplayPort 替代模式，則 USB PD 控制器將自動與連接的設備協商並進入 DisplayPort 替代模式。根據此次協商，USB PD 控制器會透過 I<sup>2</sup>C 或 GPIO 配置 DisplayPort 替代模式多工器。在 USB PD 協商過程中，一律先協商電源配置後再協商 DisplayPort 等替代模式。

### 具備 USB PD 和電池充電器的 20V USB-C DRP

過去，電池供電的終端設備使用桶式插孔、同軸纜線或專用纜線為產品充電。改用搭載 USB PD 的 USB-C 技術，就能讓設備同時進行供電與受電，進而將電池供電裝置轉換為行動電源。換句話說，終端使用者既可透過 USB-C 為連接的裝置充電，也可透過相同的 USB-C 連接器為裝置本身充電。為了滿足這些需求，通常會採用具雙向電池充電器的 DRP 架構。儘管這種設計聽起來比較複雜，但通常只需要兩顆晶片即可完成，形成一個自給解決方案。

图 52 是採用雙向電池充電器 IC 且具有 USB PD 設計的 20V USB DRP 方塊圖。在這種情況下，當終端使用者連接充電器裝置時，電池充電器會為電池充電。當終端使用者連接需要充電的裝置時，電池充電器還會在  $V_{BUS}$  上提供正確的電壓。在此情況下，USB PD 控制器也會透過 I<sup>2</sup>C 與充電器 IC 通訊。作為供電側運作時，USB PD 控制器會與電池充電器通訊，確定是否連線成功、應提供的電壓以及設定的電流限制。電池充電器需要具有正確的電壓，才能滿足 USB PD 規範的公差，並且還要確保電壓轉換 (例如從 5V 到 20V) 以滿足 USB PD 規範的時序要求。一般而言，如果電池充電器是專為 USB PD 應用設計，則其設計必須符合這些規範，或是提供可配置設定以調整電壓轉換，以便調整輸出以符合 USB PD 規範。

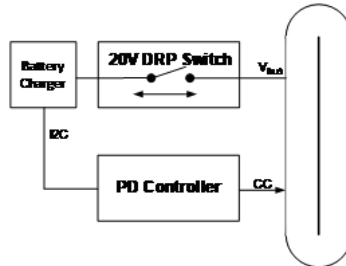


图 52. 5V 源極、20V 汲極 USB PD 方塊圖

當作為受電側運作時，USB PD 控制器會向電池充電器通報可用的電力，並啟用電池充電器開始為電池充電。图 52 加入了額外的 20V DRP 電源路徑，因為大多數電池充電器 IC 在輸入接腳上需要大於 10 $\mu$ F 的電容以確保穩定性。如果您計畫使用的充電器 IC 能在 10 $\mu$ F 以下電容運作，則可以從系統移除 20V DRP 電源路徑。

## 終端設備專屬方塊圖

- 摘要 •
- 筆記型電腦和工業用電腦 •
- 擴充站 •
- Bluetooth*® 喇叭 •
- Wi-Fi® 路由器和智慧型喇叭 •
- 電源工具 •



## 摘要

作者：Adam McGaffin

USB Type-C® (USB-C®) 正在迅速發展成通用連接器，讓各種產品都能受惠於這項技術。在本章中，我將說明目前最熱門的幾種搭載 USB-C 的終端設備類型，以及構成 USB-C 連接器週邊子系統的高階模組。

### 筆記型電腦和工業用電腦

筆記型電腦是首批採用 USB-C 的產品，目前市售的多數筆記型電腦都至少有一個 USB-C 連接埠。USB-C 和 USB PD 的功能，包括為系統充電、為外部週邊設備供電和傳輸影片的能力，為筆記型電腦帶來了極大的優勢。圖 53 是筆記型電腦或工業用電腦平台的典型方塊圖。

標準筆記型電腦與工業用電腦之間的唯一差異是操作溫度的範圍要求。但兩者間的核心元件相同，因此可以共用一個通用方塊圖。

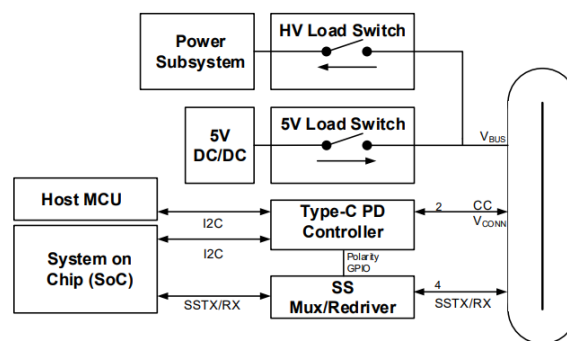


圖 53. 筆記型電腦和工業用電腦方塊圖

協商為系統供電所需的高功率合約以及透過連接器傳輸影片時，需要使用 USB PD 控制器。從電源管理的角度來看，多數平台都採用兩種不同的電源路徑。一條電源路徑專門用於汲取高電壓合約，以便為筆記型電腦充電。另一條電源路徑則專門使用 5V 電壓，為滑鼠、鍵盤、手機等連接的週邊設備充電。USB PD 控制器可直接整合這些電源路徑，也可以控制外部的電源路徑，例如專用 eFuse 和負載開關。

若要透過 USB-C 連接器傳送影片或資料，則需要執行多工器或轉接驅動器以正確引導 SuperSpeed 通道。控制多工器的工作通常也會由 USB PD 控制器負責，根據連接纜線的方向，透過通用輸入/輸出或 I<sup>2</sup>C 切換多工器的極性。

最後，這些應用通常會搭載某些形式的中央微處理器，以處理 USB-C 連接埠上發生的系統級事件。大多數 USB PD 控制器都支援 I<sup>2</sup>C 介面，允許與中央微控制器進行通訊。USB PD 控制器可提供的資訊範例包括埠夥伴資訊、電源合約與目前的影片輸出速度等。

### 擴充站

最常與筆記型電腦搭配使用的附件是擴充站，因為有了它，筆記型電腦就能使用單一連接埠充電和傳輸資料。圖 54 是擴充站的方塊圖。

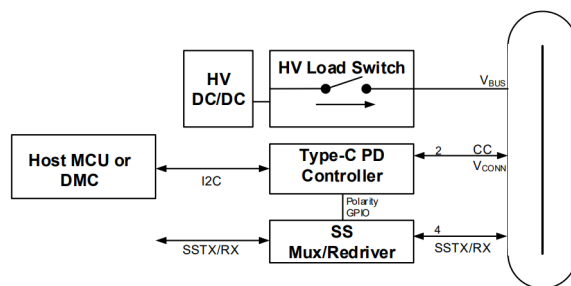


圖 54. 擴充站方塊圖

擴充站和筆記型電腦一樣需要 USB PD 控制器，才能執行高功率合約並協商視訊替代模式。但與筆記型電腦不同的是，擴充站只需要一條電源路徑，也就是連接至高電壓可變 DC/DC 的高電壓電源路徑，就可以為連接的筆記型電腦和其他週邊設備充電。擴充站不會從此埠汲取電源，因此只需要單一電源路徑就已足夠。

### Bluetooth® 喇叭

USB-C 技術為 Bluetooth 喇叭等可攜式裝置帶來極大的優勢，讓產品能夠從單一連接埠為週邊設備充電及供電，進而幫助使用者將可攜式產品轉變為行動電源。圖 55 和圖 56 展示了兩個典型的藍牙喇叭方塊圖，這些設計通常也適用於其他以電池供電的可攜式裝置。

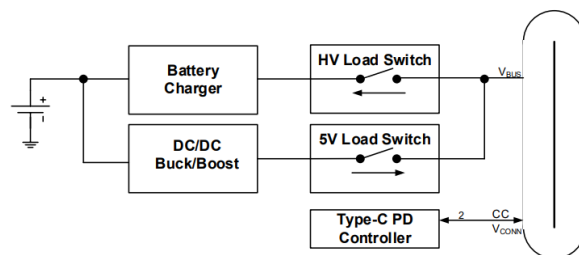


圖 55. Bluetooth 喇叭方塊圖 1

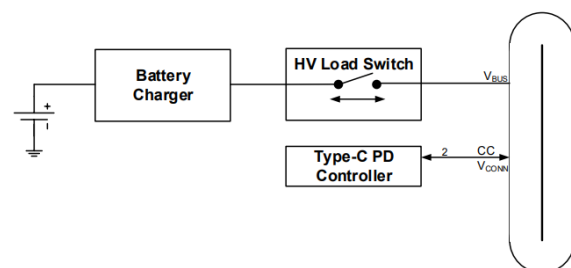


圖 56. Bluetooth 喇叭方塊圖 2

設計 Bluetooth 喇叭或任何由電池供電的可攜式裝置時，可能採用兩種電源架構：

- 兩條獨立的電源路徑，分別用於從系統汲取和供應電力。
- 單一電源路徑，其中電池充電器也可做為隨插即用模式的電力來源。

在以下情境中，前者可能是合理的選擇：Bluetooth 喇叭中的多個裝置使用通用 5V 軌，而設計人員偏好將汲極電源路徑與電源架構的其他部分隔離。相較之下，後者可能較適合想要汲極與源極電壓大於 5V 的系統。若系統希望從 USB-C 連接埠

供應 9V 電壓，則必須採用可變的 DC/DC 模組，能從 5V 啟動並切換至 9V。與其額外設計一個可變 DC/DC 模組，不妨利用許多電池充電器中內建的隨插即用模式。

## Wi-Fi® 路由器和智慧型喇叭

Wi-Fi 路由器和智慧型喇叭等傳統的桶式插孔電源裝置，正在向 USB-C 過渡。圖 57 說明了從專屬桶式插孔轉換至 USB-C 連接埠的過程。

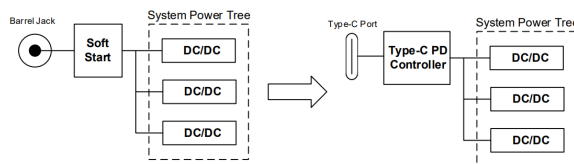


圖 57. 從桶式插孔轉換至 USB-C

如圖 57 所示，核心系統電源架構可以保持不變，因為您可以將桶式插孔通常使用的電壓透過 USB-C 連接埠協商並維持一致。另一個優點是大多數桶式插孔應用採用緩啟動電路，以限制初始連線期間的突波電流。USB-C 連接埠也可以透過 USB-C 系統中使用負載開關的內建緩啟動功能，實現相同的效果。

圖 58 更詳細地說明了 USB-C 模組，以及在 Wi-Fi 路由器或智慧型喇叭應用中採用 USB-C 所需的元件。

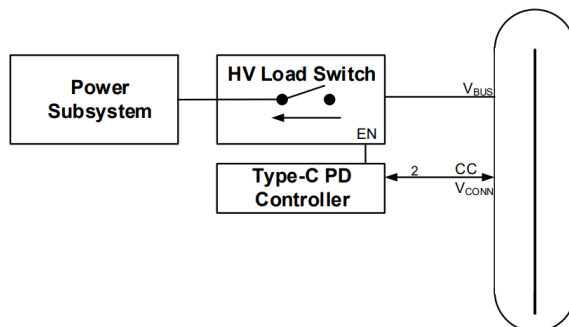


圖 58. Wi-Fi 路由器和智慧型喇叭方塊圖

只要使用一或兩個模組即可實現僅受電的 USB-C 系統，例如 Wi-Fi 路由器或智慧型喇叭。USB PD 控制器會與連接的充電器協商所需的電壓，同時也需要負載開關或電源路徑。此電源路徑連接至系統電源架構和子系統，為裝置內的所有電壓軌供電。

## 電源工具

電動工具和類似的可攜式電源組是另一種採用 USB-C 的終端設備類型，用於為筆記型電腦、手機和揚聲器等設備提供電力和充電。圖 59 和圖 60 展示了這類系統的典型方塊圖。

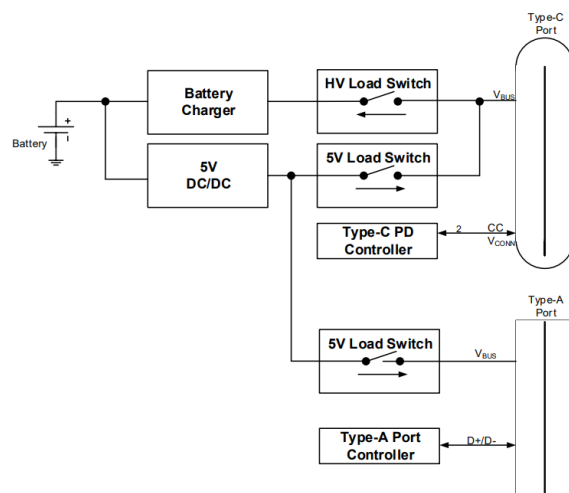


圖 59. 電源工具方塊圖 1

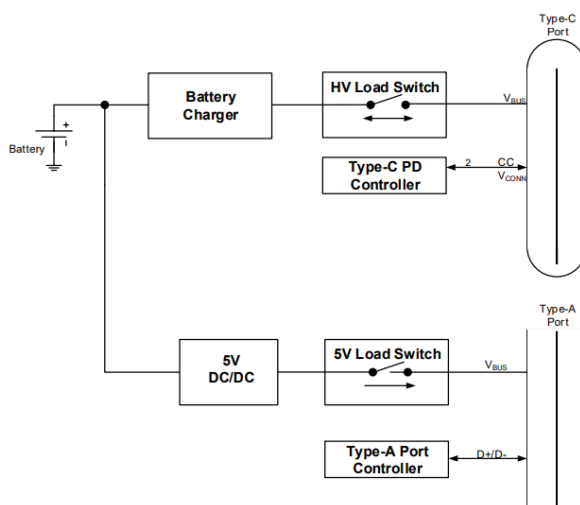


圖 60. 電源工具方塊圖 2

雖然許多設計人員正在將 USB Type-A 連接埠全面替換為 USB-C 連接埠，但部分終端設備仍採用舊技術，以便客戶為舊產品充電。電源工具便是其中一個例子。與藍牙喇叭一樣，電動工具電池組也可透過單一 USB-C 連接埠進行供電和受電。USB Type-A 連接埠僅會供應電源，為連接的裝置充電。

從電源角度來看，有兩種不同的實作方式：

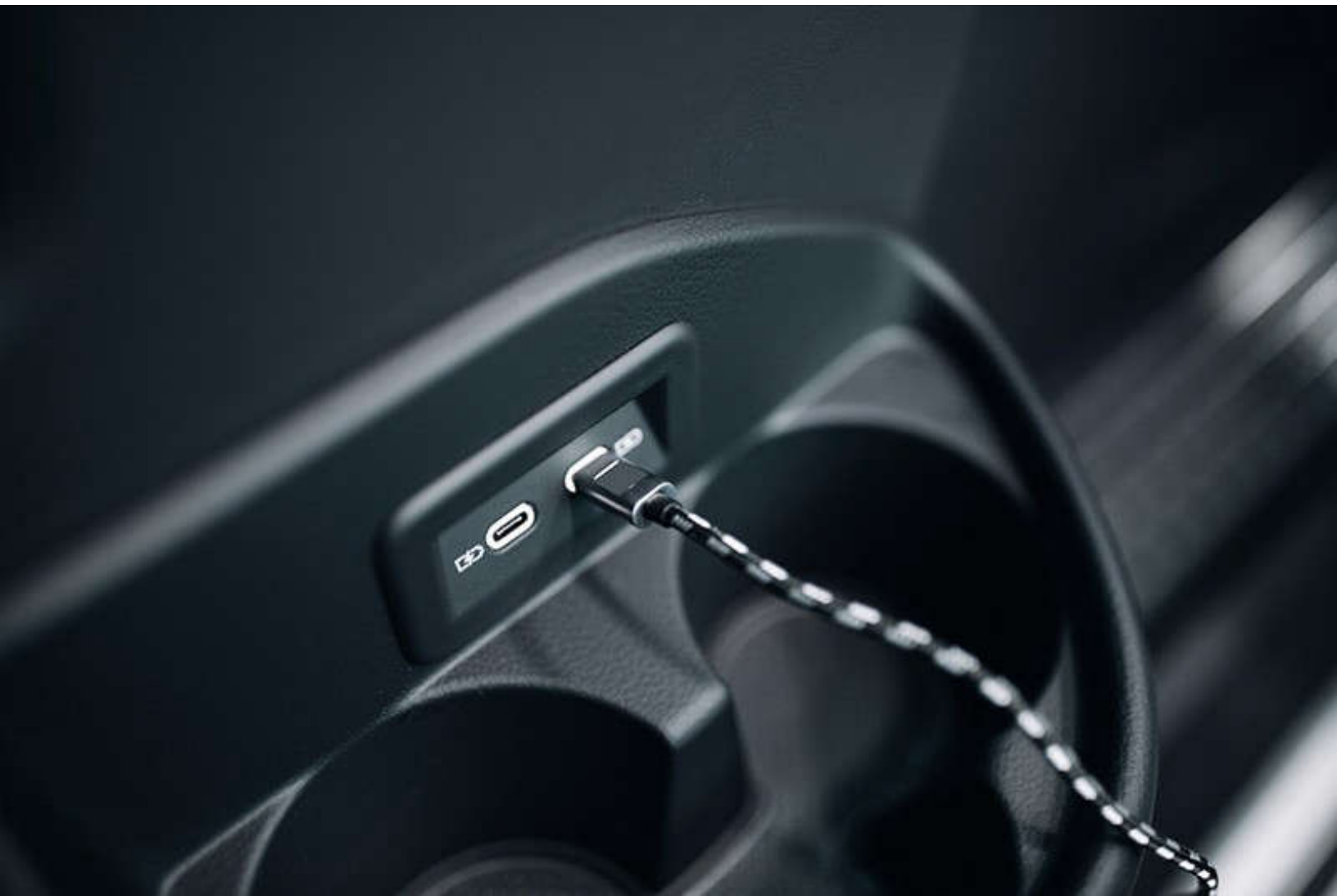
- USB-C 和 USB Type-A 連接埠共用相同的 5V DC/DC 電源供應器，其中 USB-C 連接埠的輸出限制為 5V。
- USB-C 連接埠採用單一電源路徑，電池充電器以隨插即用模式運作。USB Type-A 連接埠則有專用的 5V DC/DC 電源供應器。

電動工具與 Bluetooth 喇叭間的另一項相似之處，選擇哪種拓撲結構的主要原因取決於 USB-C 連接埠的輸出電壓。如果 USB-C 連接埠最大需求只要 5V，則共用 DC/DC 拓撲可能是最有利的方式，與 USB-C 連接埠相連的電池充電器僅可做為汲極使用。如果 USB-C 連接埠預期需要提供超過 5V 的輸出，則利用充電器內建的隨插即用功能，讓電池充電器同時充當源極和汲極，可能是最合適的解決方案。



## TI PD 控制器的優點

- 摘要 ·
- 解決常見設計難題的 TI 解決方案 ·
- 使用 TI PD 控制器的其他優點 ·



## 摘要

作者：Joe Li、Adam McGaffin

USB-C PD 自 2013 年推出以來已成為一項寶貴的技术，讓應用能透過單一纜線支援高資料傳輸速率及更高的電源傳輸。不過，採用 PD 時也會面臨一些設計挑戰，在一定程度上減緩了 USB-C PD 技术的普及速度。TI PD 控制器可以直接解決這些問題，並為終端使用者提供完整的解決方案。

## 解決常見設計難題的 TI 解決方案

### TI 提供全面整合的解決方案

**挑戰：**大多數 PD 控制器並未將所有必要電源路徑整合至其解決方案中，因此會產生劣質過電流保護 (OCP)、過電壓保護 (OVP) 和反向電流保護 (RCP)。終端使用者需要設計分離式電源路徑，或購買 5V 或高電壓 (HV) 負載開關。這導致使用者面臨龐大的解決方案總尺寸和高昂的物料清單 (BOM) 成本。

**解決方案：**TI 提供完整且獨立的 USB-C PD 解決方案，整合了系統設計人員架構 USB-C PD 系統的所有必要電源路徑和其他功能。圖 61 展示了 TI PD 控制器的簡化方塊圖。請注意，內建的場效應電晶體 (FET) 可做為內部電源路徑，讓終端使用者不必再設計額外 5V 或 HV 電源路徑。同時，當電池耗盡時，整合式的電力耗盡電池低壓降 (LDO) 會產生 3.3V 軌，為部分系統供電。內部電源路徑保護可針對 RCP、OVP 和 OCP 提供穩固的防護。此外，TI PD 控制器整合了可承受 26-V 的 CC 接腳，可在連接至不相容裝置時提供強力防護。TI PD 控制器採用高度整合的設計，可省去開發韌體或外部微控制器的需求。

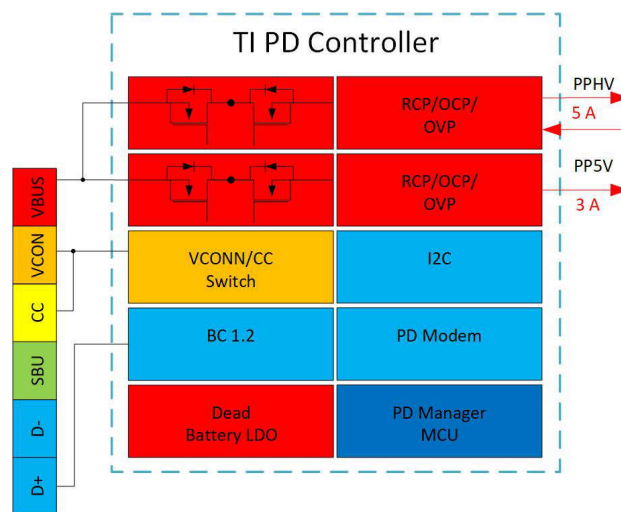


圖 61. TI PD 控制器設計

另一方面，傳統 PD 控制器產品的整合度通常較低，需要系統設計人員額外投入設計精力和材料才能完成系統。圖 62 說明了典型的 PD 控制器設計。這類解決方案的整合功能較少，大部分完成 USB-C PD 解決方案所需的工作皆必須由系統設計人員完成。由於沒有內部電源路徑、電源路徑保護、電力耗盡的電池 LDO，且常常沒有 BC 1.2 通訊協定模組，因此終端使用者需要自行完成設計。由於需要多顆額外的晶片和 FET，使用典型的 PD 控制器可能成為一個效率低下、複雜且昂貴的解決方案。

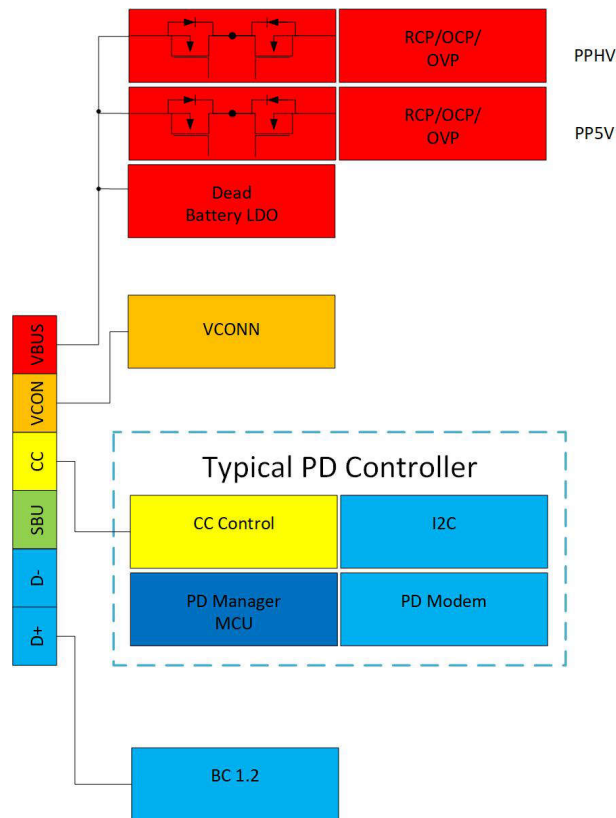


图 62. 典型 PD 控制器設計

總體來看，憑藉高度整合的設計，TI 能夠提供業界最小的總體解決方案尺寸，同時保持最低的物料成本 (BOM)。透過內建的電源路徑管理和其他功能，TI 提供了完整的單晶片解決方案，免除了終端使用者尋找額外元件來完成 USB-C PD 系統的麻煩和成本。

### TI 提供簡易的設定工具

**挑戰：**在首次使用前配置 PD 控制器的能力非常重要。舉例來說，終端使用者應該能輕易的將 PD 控制器的電源角色從僅供電變更為雙重用途電源或僅受電。但是，使用典型 PD 控制器進行設計時通常並非如此，因為配置過程可能會相當混亂且耗時。大多數配置軟體需要手動編碼、複雜的韌體指令碼、或甚至是 I2C 暫存器的深入知識才能支援充電器，學習曲線非常陡峭，進一步降低程序的易用性。

**解決方案：**TI PD 控制器的配置程序十分簡單，所需的編碼程度極低。TPS6598X 系列的終端使用者可下載 TI 應用程式自訂圖形使用者介面 (GUI) 工具，以輕鬆變更配置設定或透過 I2C 與 PD 控制器互動。图 63 是使用 TPS6598X 系列 GUI 工具配置通用輸入/輸出 (GPIO) 設定的螢幕截圖。

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

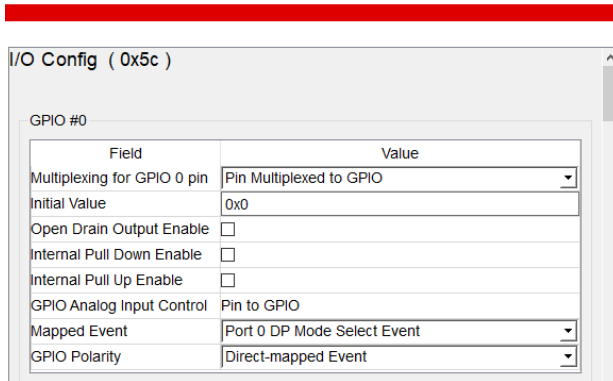


图 63. TPS6598X 系列 GUI 工具

針對目前與未來的 PD 控制器，TI 提供易於使用的網路式問答型 GUI 工具，供終端使用者配置 PD 控制器。終端使用者只需回答一些問題即可產生韌體/配置映像。如需簡易配置過程的詳細資訊，請參閱图 64。

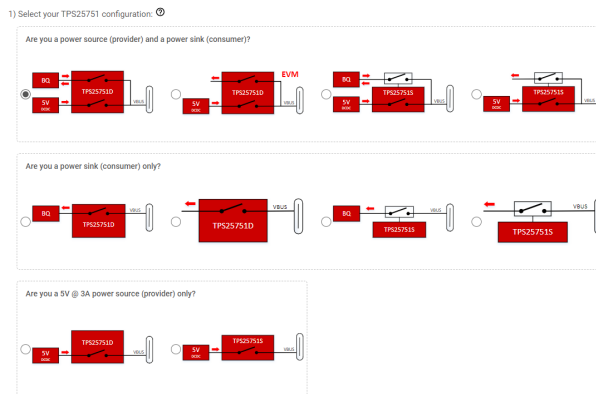


图 64. 網頁式 GUI 截圖

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. 網頁式 GUI 截圖

### TI 產品皆經過嚴格驗證及 USB-IF 認證

**挑戰：**很多 PD 控制器並不完全符合 USB Implementers Forum (USB-IF) 規範。未通過 USB-IF 認證的產品可能會在嘗試與其他 USB-C 終端產品配合操作時造成問題，甚至導致傳統 USB-C 功能失效；這可能包括 DisplayPort 替代模式故障。

**解決方案：**為了確保 TI 產品的可靠性，所有 TI PD 控制器在每次發布前都會經過廣泛的驗證，包括韌體驗證和系統驗證。在每次推出新的韌體版本或更新時，TI 也會新增相應測試以驗證所有新功能，並執行完整的迴歸測試，確認所有現有功能不受影響。完成韌體測試後，產品還要通過系統驗證，包括合規性、互通性、故障、功率量測和功能測試，以確保產品符合規標準並能夠與相關設備正常協作。此外，TI 會在每次發布後根據使用者意見，持續升級並驗證 PD 控制器。

TI 也與負責設定 USB 規範的 USB-IF 委員會保持長期合作關係。雙方的合作促使 TI 不斷努力確保其產品符合規範。TI 目前有代表任職於 USB-IF 董事會，這使得 TI 成為 USB 社群的重要成員。所有 TI PD 產品均按照 USB-IF 規範進行的測試與認證。如此可確保 TI PD 控制器符合 USB 電源傳輸規格，進而與其他 USB-IF 認證的系統無縫相容，而不僅限於執行 TI 解決方案的系統。

### 使用 TI PD 控制器的其他優點

#### TI 提供完整的參考設計

TI 致力於讓終端使用者在採用 USB-C PD 技術時盡量流暢，這就是為什麼 TI 要針對各種使用案例的大多數 TI PD 控制器提供完整參考設計。如需參考設計的完整清單，請前往以下網站，並使用參數搜尋工具快速找到所需的產品：<https://www.ti.com/reference-designs/index.html#search?famid=361,658,3391>。

### TI 提供卓越的客戶支援

為了進一步改善終端使用者的體驗，TI 提供一流的客戶支援。終端使用者只要前往 [www.ti.com/usb-c](http://www.ti.com/usb-c)，即可找到所有相關訓練影片、參考設計和評估模組 (EVMS)，協助開發 USB-C PD 系統並進行除錯。在現有資源的基礎上，TI 線上 E2E 論壇進一步將個別終端使用者連結至 TI 專家，提供額外的技術支援。

### 結論

改用 USB-C 電源系統雖然看似複雜且昂貴，但只要選擇 TI PD 控制器，終端使用者就能將設計工作量、上市時間和系統成本降到最低。TI 致力於將旗下 USB-PD 產品推展為業界的黃金標準。為了針對性解決 USB-C PD 的主要痛點，TI 推出整合度極高的 PD 解決方案、開發簡單好上手的 GUI 配置工具，並提供一流的客戶支援。

**重要聲明：**本文所述德州儀器及其子公司相關產品與服務經根據 TI 標準銷售條款及條件。建議客戶在開出訂單前先取得 TI 產品及服務的最新完整資訊。TI 不負責應用協助、客戶的應用或產品設計、軟體效能或侵害專利等問題。其他任何公司產品或服務的相關發佈資訊不構成 TI 認可、保證或同意等表示。

所有商標均為其各自所有者的財產。

© 2024 Texas Instruments Incorporated



NESY068

## IMPORTANT NOTICE AND DISCLAIMER

TI PROVIDES TECHNICAL AND RELIABILITY DATA (INCLUDING DATA SHEETS), DESIGN RESOURCES (INCLUDING REFERENCE DESIGNS), APPLICATION OR OTHER DESIGN ADVICE, WEB TOOLS, SAFETY INFORMATION, AND OTHER RESOURCES "AS IS" AND WITH ALL FAULTS, AND DISCLAIMS ALL WARRANTIES, EXPRESS AND IMPLIED, INCLUDING WITHOUT LIMITATION ANY IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY, FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE OR NON-INFRINGEMENT OF THIRD PARTY INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS.

These resources are intended for skilled developers designing with TI products. You are solely responsible for (1) selecting the appropriate TI products for your application, (2) designing, validating and testing your application, and (3) ensuring your application meets applicable standards, and any other safety, security, regulatory or other requirements.

These resources are subject to change without notice. TI grants you permission to use these resources only for development of an application that uses the TI products described in the resource. Other reproduction and display of these resources is prohibited. No license is granted to any other TI intellectual property right or to any third party intellectual property right. TI disclaims responsibility for, and you will fully indemnify TI and its representatives against, any claims, damages, costs, losses, and liabilities arising out of your use of these resources.

TI's products are provided subject to [TI's Terms of Sale](#) or other applicable terms available either on [ti.com](https://www.ti.com) or provided in conjunction with such TI products. TI's provision of these resources does not expand or otherwise alter TI's applicable warranties or warranty disclaimers for TI products.

TI objects to and rejects any additional or different terms you may have proposed.

Mailing Address: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265  
Copyright © 2024, Texas Instruments Incorporated