

USB-C 升降压电池充电基础知识

摘要

本文将介绍随着 USB Type-C® 日益普及而不断演进的供电架构。USB Type-C® 通过单一接口即可实现双向供电与数据传输。本文梳理了在宽输入电压范围和宽电池电压范围下进行充电设计时面临的挑战，并在比较预升压方案及降压和升压等传统方案的基础上，说明对于下一代 USB-C 供电系统而言，兼具灵活性、高效率和紧凑实现优势的降压升压充电拓扑是更优选择。

目录

摘要	1
介绍	2
传统供电系统	2
转向 USB Type-C®	3
不同的 USB-C 电池充电方案	3
结论	5
参考资料	5
修订历史	6

介绍

USB Implementers Forum^[1]制定并标准化了 USB Type-C®和 USB Power Delivery(USB PD)。随着这两项技术的普及,现代计算平台中的电源接口正迅速向 USB-C 集中,相关设备涵盖笔记本电脑、平板电脑以及各类外设。

伴随这一转变,双向供电支持、USB PD Extended Power Range(EPR)带来的更高功率,以及动态功率控制等新需求,也对系统电源架构提出了更高要求。因此,系统设计人员需要重新审视传统供电方式,以适应这些持续演进的标准。

本文首先概述面向传统 PC 的供电架构,并探讨随着 USB Type-C®接口及先进 USB PD 功能的引入,供电系统是如何演进的。随后,本文比较多种电池充电拓扑,并说明面向 USB-C 的升降压充电架构如何实现现代便携设备所需的灵活性、高效率与小型化设计。

传统供电系统

USB-A/B 端口充电过去广泛应用于智能手机、平板电脑等低功耗场景,但这类传统接口只能提供固定 5V 且电流能力有限,因此并不适合功率需求更高的设备。

相比之下,结合 USB Type-C®与 USB Power Delivery(USB PD)的方案,正逐步成为笔记本电脑、平板电脑、智能手机及各类外设等广泛电子设备中的主流供电接口。借助 USB-C,设备之间可通过动态协商灵活设定电压与电流等级。进一步地,随着 USB PD Extended Power Range(EPR)的引入,可供电功率已扩展至最高 240W,使以往依赖专用 AC 适配器的高性能计算平台也能够采用 USB-C 接口。

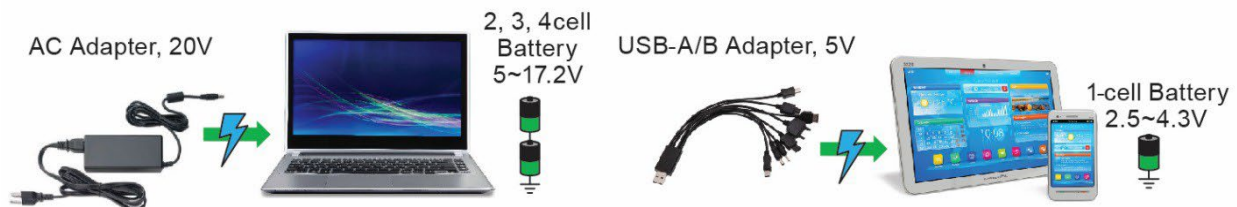


图1. USB PD 出现之前的供电架构

USB PD 出现之前,用于计算平台的供电架构通常由 AC 适配器将交流电转换为固定直流输出(通常约为 19V 至 20V),同时为笔记本电脑等主设备供电并给电池充电。这类系统通常使用 1 节到 4 节锂离子电池组,每节电池的工作电压会随充电状态变化,一般约为 2.5V 至 4.3V。因此,整组电池的电压范围大致为 2.5V 至 17.2V。

在此类系统中,电池充电器通常采用降压方式,将适配器电压降至适合给电池充电的水平。此外,面向传统 USB-A 端口时,为向智能手机、平板电脑等外部设备提供 5V 输出,通常会利用系统电池或适配器通过降压转换器生成该电压;而在单节电池系统中,则会使用升压转换器。

转向 USB Type-C®

USB Type-C®正在深刻改变电子设备中的供电与电源管理方式。USB Type-C®兼具高速数据传输与双向供电能力, 并采用通用、可正反插的连接设计。不同于传统接口, USB-C 支持动态功率协商, 设备可根据系统需求灵活充当供电端或受电端。

USB-C 端口可借助 USB Power Delivery 动态协商电压和电流, 以适应广泛的工作条件。除 Standard Power Range(SPR, 最高 100W)外, Extended Power Range(EPR)还可提供更高功率, 使笔记本电脑、游戏系统和扩展坞等高性能设备也能获得支持。



图 2. USB Type-C 供电架构

USB-C 的引入使供电架构发生了显著变化。USB-C 端口能够接收宽范围输入电压 (例如在 EPR 系统中为 5V 至 28V), 并高效为采用 1 节到 4 节等不同电池配置的设备充电。在现代系统中, USB-C 端口不仅可以为自身受电, 还能向对端的智能手机、平板电脑及其他外设供电。借助这种双向能力, 系统设计在电力共享和多端口配置方面拥有了更高灵活性。

因此, 电源管理系统需要支持更宽的输入电压范围、双向功率流、动态功率协商, 以及在各种工作条件下保持高效率运行。为了满足这些要求, 先进的升降压充电架构已不可或缺, 它能够为当今计算平台提供所需的灵活性、高效率以及紧凑型系统设计。

不同的 USB-C 电池充电方案

USB Type-C®供电架构中的一个关键挑战, 是如何将宽范围输入电压 (例如支持 USB Power Delivery Extended Power Range: EPR 时为 5V 至 28V) 高效转换到电池电压范围 (1 至 4 节锂离子电池时约为 2.5V 至 17.2V)。由于输入电压与电池电压之间的关系会随工作条件而变化, 单纯依赖降压或升压方案都无法在所有条件下实现最佳效果。

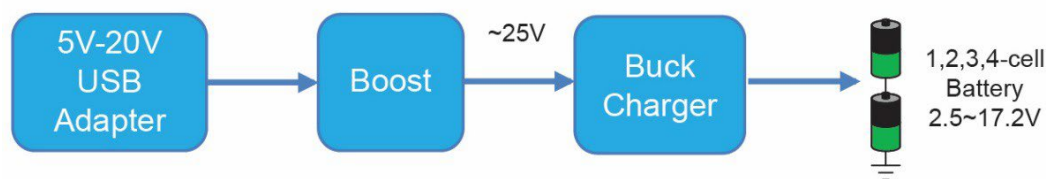


图3. 预升压方案

图3展示了基于预升压的方案。在这种配置中，首先将USB-C适配器电压升高到高于最大输入电压的水平（例如约25V以上），然后再由后级降压充电器控制电池充电电压。该方案虽然能使充电器始终工作在降压模式，但也需要额外增加一级升压转换器。因此，系统成本和占板面积都会上升，同时预升压级引入的额外损耗也会降低整体效率。

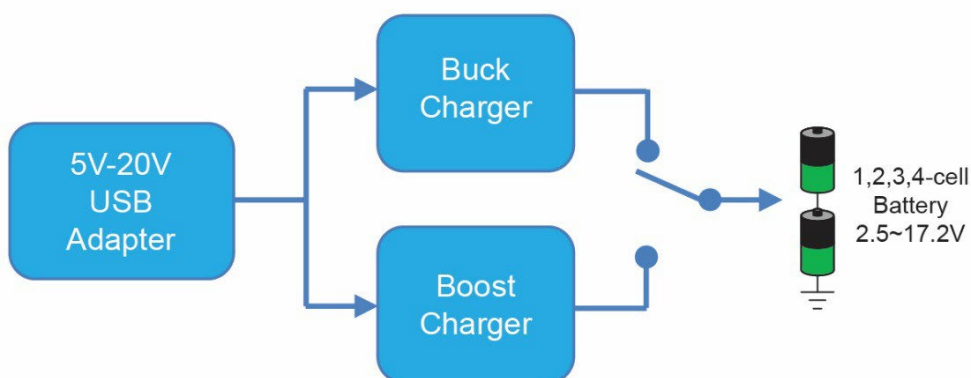


图4. 降压充电器或升压充电器方案

图4展示了根据输入电压与电池电压之间的关系，在降压充电器与升压充电器之间切换的方案。该方法无需专用预升压级，因此相较前一种方案效率有所提升。然而，为了同时覆盖降压和升压两类工况，系统仍需要多条功率转换路径或额外电路，从而增加系统复杂度、占板面积和成本。



图5. 降升压充电器方案

图5所示的降升压拓扑是一种集成度更高、效率更优的解决方案。当输入电压高于电池电压时，可工作于降压模式；当输入电压低于电池电压时，可工作于升压模式；而当两者接近时，则可无缝切换到降升压模式。

这种灵活性使得系统能够通过单级电源方案减少器件数量、缩小系统尺寸，并在整个工作范围内提升综合效率。降升压充电器架构能够满足USB-C供电系统的关键需求，包括支持宽输入电压范围、双向工作以及在各种工况下实现最优性能。

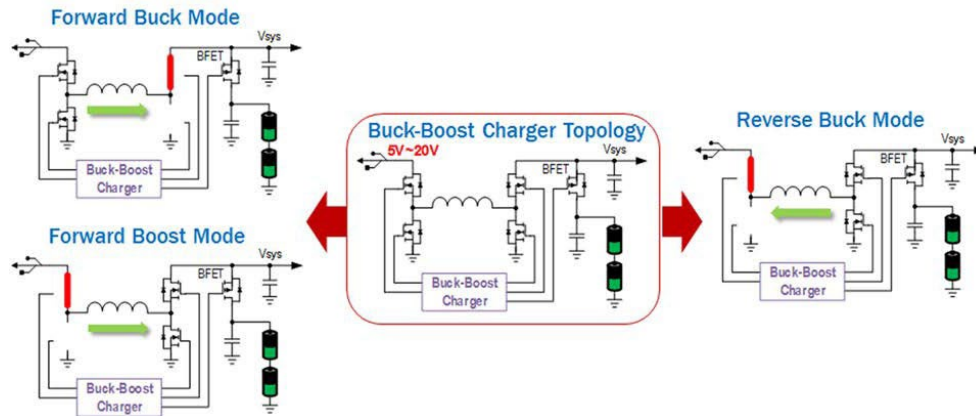


图6. 升降压充电器拓扑

USB Type-C®升降压电池充电解决方案的典型代表之一，是 Renesas 的 RAA489110^[2]。图6展示了基于该架构的典型升降压充电器拓扑。RAA489110 采用四开关升降压拓扑，由4个开关 MOSFET、1个电感，以及电池连接 FET (BFET)构成。其开关级由降压桥臂和升压桥臂组成，可在多种功率转换模式之间实现无缝切换。借助这一架构，当输入电压高于电池电压时可执行降压工作；当输入电压低于电池电压时可执行升压工作；当两者接近时可执行降升压工作。此外，它还支持反向工作，可将电池能量输出到 USB Type-C 端口，为智能手机、平板电脑和便携式电源系统等外部设备供电。

RAA489110 具备丰富的高级功能，并支持通过 SMBus/I²C 与系统主机或嵌入式控制器通信。该器件支持 Programmable Power Supply(PPS)和 Extended Power Range(EPR)，并集成 PROCHOT#、系统功率监测(PSYS)等符合 Intel IMVP 要求的功能，以满足现代平台需求。此外，它还内置适配器过流、电池过流、过温保护和系统电压调节等多种保护与监测功能，并支持可编程的多级适配器电流限制，以最大化利用适配器供电能力。无论是标准 AC/DC 适配器、USB PD 电源、旅行适配器还是移动电源，它都能良好支持；即便输入供电能力可变或通过协商动态变化，也能保持稳定可靠运行。

结论

随着以 Renesas RAA489110 为代表的先进 USB Type-C®升降压电池充电器的出现，现代移动 PC 和便携式设备已经能够通过 USB Type-C®连接器实现高效率的双向供电。USB Type-C®借助 USB PD 支持双向功率流和动态功率协商，从而简化了供电与数据连接。随着 Extended Power Range(EPR)的引入，该接口还能支持更高功率等级，并适用于更广泛的计算平台。随着 USB-C 生态持续发展，单根线缆即可服务多类设备和应用的统一供电接口正逐步成为现实，这将有助于简化系统设计并提升用户体验。

参考资料

- [1] USB Implementers Forum www.usb.org
- [2] Renesas RAA489110 <https://www.renesas.com/zh/products/RAA489110>

修订历史

版本	日期	说明
2.00	2026年6月18日	USB标准相关内容与产品信息已更新
1.00	2018年8月20日	初版

IMPORTANT NOTICE AND DISCLAIMER

RENESAS ELECTRONICS CORPORATION AND ITS SUBSIDIARIES ("RENESAS") PROVIDES TECHNICAL SPECIFICATIONS AND RELIABILITY DATA (INCLUDING DATASHEETS), 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 OR 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 developers who are designing with Renesas products. You are solely responsible for (1) selecting the appropriate products for your application, (2) designing, validating, and testing your application, and (3) ensuring your application meets applicable standards, and any other safety, security, or other requirements. These resources are subject to change without notice. Renesas grants you permission to use these resources only to develop an application that uses Renesas products. Other reproduction or use of these resources is strictly prohibited. No license is granted to any other Renesas intellectual property or to any third-party intellectual property. Renesas disclaims responsibility for, and you will fully indemnify Renesas and its representatives against, any claims, damages, costs, losses, or liabilities arising from your use of these resources. Renesas' products are provided only subject to Renesas' Terms and Conditions of Sale or other applicable terms agreed to in writing. No use of any Renesas resources expands or otherwise alters any applicable warranties or warranty disclaimers for these products.

(Disclaimer Rev.1.01)

Corporate Headquarters

TOYOSU FORESIA, 3-2-24 Toyosu,
Koto-ku, Tokyo 135-0061, Japan
www.renesas.com

Contact Information

For further information on a product, technology, the most up-to-date version of a document, or your nearest sales office, please visit www.renesas.com/contact-us/.

Trademarks

Renesas and the Renesas logo are trademarks of Renesas Electronics Corporation. All trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners.