

高集成度与高扩展性的 USB Type-C 电池充电架构

摘要

本文白皮书介绍了采用 RAA489800、RAA489110/RAA489118 等 Renesas 器件构建的 USB Type-C®电源架构。该架构集成了双向功率控制与电池充电功能, 在降低系统复杂度和 BOM 成本的同时, 实现了更高性能、更高效的多端口功率共享以及更强的可扩展性。此外, 它还全面支持 USB Power Delivery 3.1 (PPS 含), 可通过动态电压/电流控制, 优化下一代应用的供电表现。

目录

摘要	1
介绍	2
USB Type-C®电池充电的下一代架构	2
Programmable Power Supply(PPS)解决方案	5
结论	5
参考资料	5
修订历史	5

介绍

USB Type-C®接口正在深刻改变电子设备的供电与充电方式。借助可正反插的连接器设计，用户不仅可以更方便地完成连接，还能实现线缆两端均可连接任意设备的真正双向连接。此外，通过系统级协商机制，连接角色和功率方向可自动确定，从而实现更顺畅的系统运行。

USB Type-C®不仅支持高速数据传输，还显著扩展了双向供电能力。传统方案最高支持 100W (20V, 5A)，而在 USB Power Delivery 3.1 (USB PD 3.1)中，随着 Extended Power Range (EPR: 28V, 36V, 48V)的引入，最大供电能力已提升至 240W。这一演进使 USB-C 逐步成为高性能笔记本电脑、平板电脑以及其他高功率设备的重要电源接口。

USB PD 与 USB Type-C®的普及，对系统设计人员在电源管理和电压控制方面提出了更高要求。与电压固定的传统 USB Type-A 和 Type-B 接口不同，USB Type-C®可作为双向供电端口工作，并动态调节电压和电流。借助这种灵活性，现代系统可以用单一 USB-C 接口替代传统 AC/DC 适配器及多个 legacy 端口。因此，越来越多的设计开始采用两个及以上 USB Type-C®端口，以获得更高的功率处理能力和更强的系统灵活性。

与此同时，传统的多 USB Type-C®端口系统架构通常较为复杂，往往需要外置升降压稳压器、独立电池充电器 IC 等多种分立器件。这类方案不仅会增加系统成本、板级面积和设计复杂度，还会限制系统扩展能力。

本文提出了一种基于 RAA489110^[1]/RAA489118^[2]升降压电池充电器以及 RAA489800^[3]系列等 Renesas 高集成度电源管理器件的系统架构。这些器件将充电、系统供电控制和双向功率路径控制整合于单一方案中，在显著简化设计的同时，广泛支持包括 PPS 和多端口运行在内的 USB PD 3.1 功能。此外，该架构还能高效实现 Programmable Power Supply (PPS)，在宽工作范围内精细调节电压和电流，实现更优的电力传输。

USB Type-C®电池充电的下一代架构

图 1 展示了一种由 RAA489800 双向升降压(BB)稳压器与 RAA489110 或 RAA489118 升降压电池充电器构成的 USB Type-C®架构。借助该方案，系统可通过 USB Type-C®端口为电池充电；当 USB-C_1 和 USB-C_2 同时接入两台 PD 充电器时，还可支持快速充电。同时，无需额外复杂的端口控制逻辑，即可在两个端口上实现完整的 USB 3.1 功能。

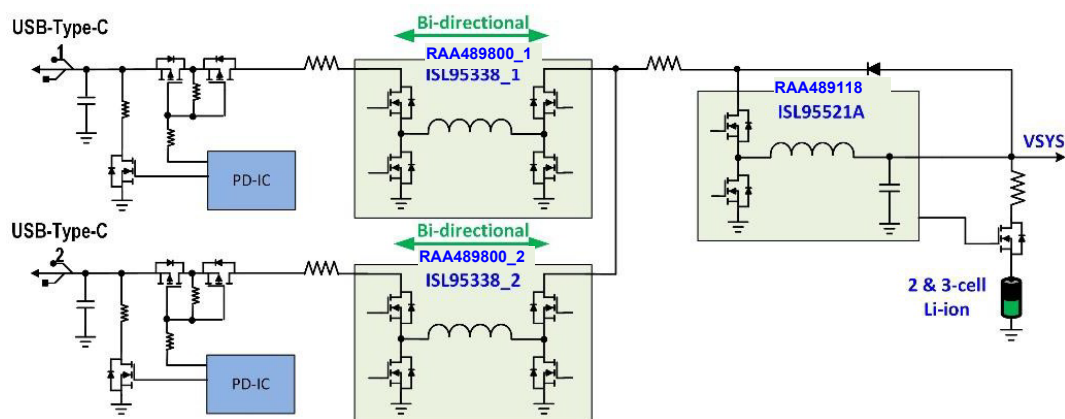


图 1. Renesas 电池充电架构

双 USB Type-C®端口、双路 BB 稳压器 + 降压充电器

对比图 1 和图 2 可以看出, 在传统电池充电架构中, 要实现与 Renesas 充电方案相当的功能和性能, 通常需要更多器件以及更复杂的外部电路。传统实现通常需要为每条充电路径配置专用的 USB-PD 控制器, 用于管理 ASGATE 控制和充电功能, 从而导致整体系统成本 and 设计复杂度上升。此外, 实现双向功率路径控制时, 往往还需要额外控制电路。相比之下, Renesas 电池充电架构对这些功能进行了高效整合, 并通过减少外部器件简化了系统设计。

此外, 基于传统降压转换器的 OTG 实现通常只能提供固定 5V 输出。因此, 它无法满足大量 USB Type-C®应用的需求, 因为这些应用往往需要符合 USB PD 规范、能够在 5V 到 20V 甚至更高范围内动态调节的输出电压。

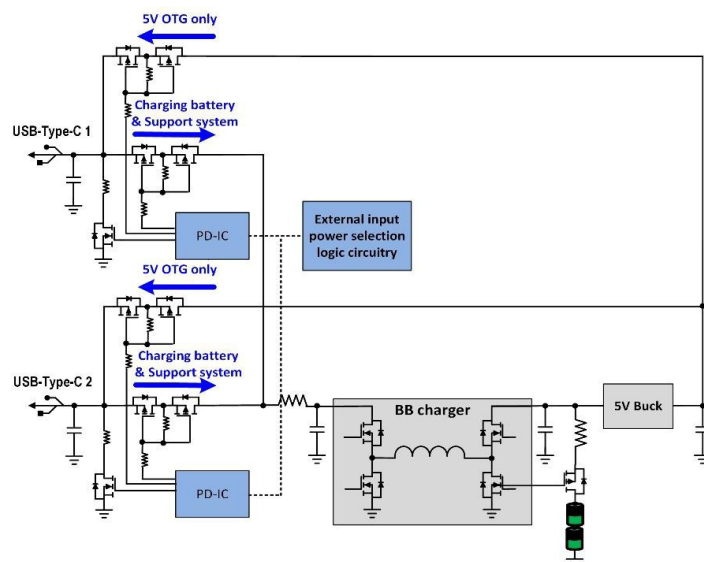


图 2. 传统电池充电架构

1 路 BB 充电器 + 复杂外部逻辑

Renesas 凭借高集成度且具备良好扩展性的电源解决方案, 突破了传统充电实现的局限。如图 1 所示, 通过并联 RAA489800 等双向升降压控制器, 可将两个 USB Type-C®端口连接到 RAA489118 或 RAA489110 等系统电池充电器。该架构无需独立的功率路径管理电路和额外外部控制逻辑等多种分立器件, 因此可显著简化系统设计并降低整体 BOM 成本。在减少器件数量的同时, 系统性能不仅得以保持, 在某些场景下还可进一步提升。

在典型工作条件下, 来自 USB Type-C®输入的电能量会通过升降压级以高效率直接传输到系统充电器。通过并联两个 RAA489800 控制器, 系统可灵活利用多个电源。例如, 当接入两只功率能力不同的 USB Type-C®适配器时, 这两个器件的控制环路会自动管理电压和电流分配, 无需额外协同电路即可最大化可用输入功率。

例如, 利用两路功率等级不同的 USB Type-C®输入, 可以获得高于单路 USB-C 输入的总充电功率, 从而实现更快的电池充电。如图 1 所示, 将两颗 RAA489800 并联并连接到 RAA489118 系统充电器, 即可实现该功能。接入高功率 USB-C 电源的一侧 RAA489800 工作在电压控制环路, 以维持面向 RAA489118 的稳定输入电压(V0); 接入低功率电源的另一侧 RAA489800 则工作在电流控制环路, 以自动输出该电源可提供的最大功率。采用这种方式, 无需额外外部电路或控制逻辑来管理不同额定功率的输入电源, 即可在两路输入之间自动实现功率共享。RAA489800 器件还能根据各路电源特性动态切换控制模式, 从而更充分地利用可用输入功率。

该架构原生支持双向供电，必要时可通过 RAA489800 将电池能量高效输送到 USB Type-C® 端口。这样一来，传统方案中所需的专用 5V 降压转换器和额外 OTG 门控控制电路都可以省去。进一步地，通过 RAA489800 器件、RAA489118 充电器与 USB-PD 控制器之间的系统级通信 (如 SMBus 或 I²C)，系统可在不依赖固定输出设置的情况下实现灵活配置和动态电压控制，从而满足 USB Power Delivery 规范所要求的宽范围可编程电压输出。

如图 3 所示，这种高扩展性架构可通过将多颗 RAA489800 并联到单颗 RAA489118 充电器上，支持更高功率等级的系统。每个 USB Type-C® 端口都可根据系统需求独立充当受电端或供电端。此外，该架构还能在不增加系统复杂度和 BOM 成本的前提下，无缝接入传统适配器作为额外电源，为多端口 USB Type-C® 应用提供高度灵活且高效的解决方案。

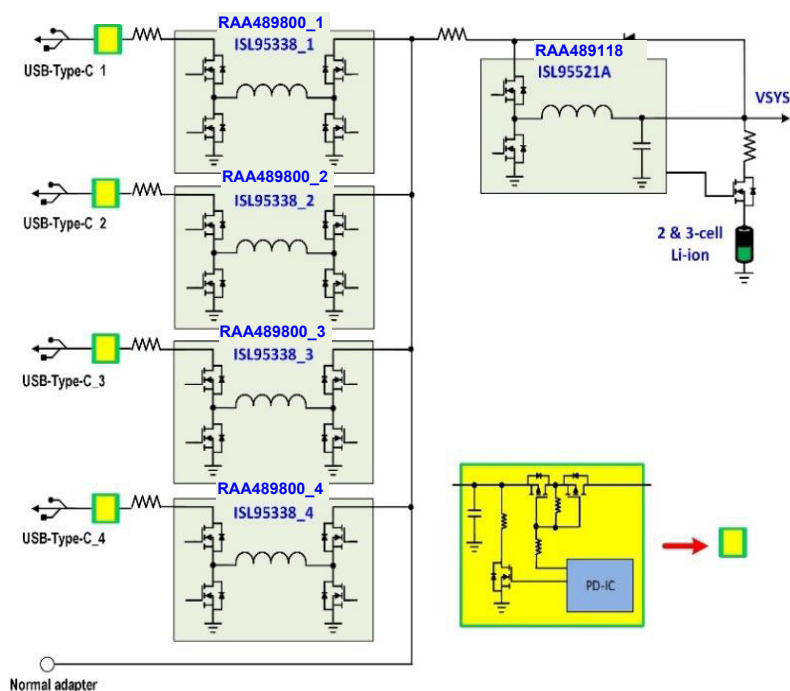


图 3. 4 端口 USB Type-C® 用 Renesas 电池充电架构

4 路 BB 稳压器 + 降压充电器

Programmable Power Supply(PPS)解决方案

USB Power Delivery 规范中定义的 Programmable Power Supply (PPS)功能, 支持以较小步进 (例如 : 20mV / 50mA) 动态调节输出电压和电流, 从而优化功率效率。如图 4 所示, RAA489800 双向升降压控制器支持宽范围动态可调电压和双向功率流, 非常适合 PPS 应用。搭配 R9A02G011^[4]等 USB-PD 控制器, 并通过数字通信接口 (如 SMBus 或 I²C)协同工作, 系统即可精准控制电压和电流以满足 PPS 要求, 并最大化整体系统效率和性能。

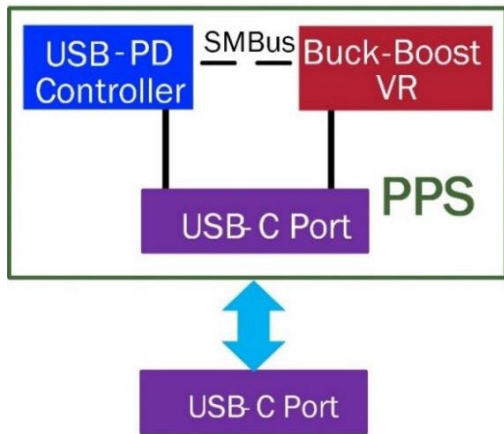


图 4. Renesas PPS 架构

结论

在多端口 USB Type-C®电池充电系统中采用 RAA489800, 可构建简洁且高集成度的充电架构。与传统充电方式相比, Renesas 该架构在控制系统成本的同时, 能够带来更高性能、更快充电速度以及更优的整体效率。此外, 该方案还支持对下一代应用电源优化至关重要的 Programmable Power Supply (PPS), 并全面符合 USB Type-C®及 USB Power Delivery 相关规范要求。

参考资料

- [1] Renesas RAA489110 <https://www.renesas.com/zh/products/RAA489110>
- [2] Renesas RAA489118 <https://www.renesas.com/zh/products/RAA489118>
- [3] Renesas RAA489800 <https://www.renesas.com/zh/products/RAA489800>
- [4] Renesas R9A02G011 <https://www.renesas.com/zh/products/R9A02G011>

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2月	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.