

## 白皮书

# 新型 USB-C 复合升降压电池充电器： 优化移动计算系统的性能

Zhigang Liang, 瑞萨电子株式会社电池和光学解决方案部门技术营销经理

Ashwini Ravindran, 瑞萨电子株式会社电池和光学解决方案部门资深应用工程师

Sungkeun Lim, 瑞萨电子株式会社电池和光学解决方案部门应用工程经理

Sungkeun Lim, 瑞萨电子株式会社电池和光学解决方案部门资深产品营销经理

2018 年 10 月

## 摘要

近日, 人们越来越关注通过添加 USB-C 端口来优化移动计算系统。通过 USB-C 对移动计算系统的电池充电已成为一种新趋势。为了进一步说明 USB-C 端口使用的增长, 本文将首先介绍传统的 USB-C NVDC 升降压充电器拓扑并概括其优缺点, 然后再讨论瑞萨电子的复合电池充电器解决方案。该解决方案既可在 NVDC 模式下使用, 也可在全新的复合功率升降压(HPBB)模式下运行。

## 引言

USB-C 接口正在革新我们为电子设备充电的方式, 特别是移动计算设备。传统移动计算设备(例如膝上型电脑或笔记本电脑)通常包括一个专门用于电源适配器的专用端口。当适配器插入此专用端口时, 除控制系统的电源供应之外, 电池充电器还负责为电池充电。

最近, 有些移动计算设备制造商已开始为设备添加 USB 端口, 以支持较新的 USB Type-C (USB-C)或 USB 供电(USB PD)协议。USB-C 支持双向功率流动, 并且电压远高于以前的 USB 接口。比如以 5 V 为例, USB-C 端口控制器从默认的 5 V 电压开始, 它会与插入的设备协商, 以双方协议的电流电压将端口电压提高到 12 V、20 V 或双方协议的其他电压。USB-C 端口可输出的最大功率为 100 W (以 5 A 电流输出 20 V 电压), 足以计算机充电。因此, 相比通过典型独立专属电源适配器端口充电的传统方式, 通过 USB-C 端口为移动计算设备充电越来越受欢迎。

## USB-C 升降压 NVDC 充电器架构

这种新 USB-C 协议为电池充电系统提供了更广的可变输入电压( $V_{in}$ )范围,可能比电池组电压和系统总线电压更低或更高。因此,升降压转换器成为了最受青睐的选择。图 1 显示了电压范围狭窄的传统 DC (NVDC)四开关升降压充电拓扑简图。这种 NVDC 充电器包括四个属于升降压转换器的 FET 开关,以及一个位于电池和系统电压总线( $V_{sys}$ )之间的 BFET 开关。升降压转换器的输入可能来自专属 AC/DC 适配器或 USB-C 端口。

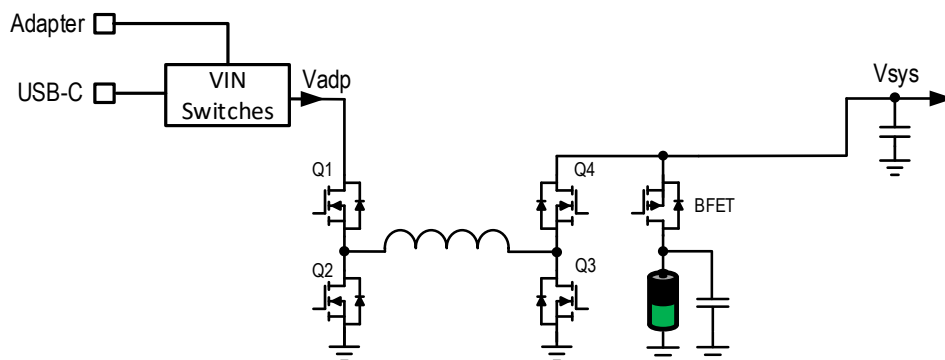


图 1. 传统 NVDC 升降压充电器的 USB-C 拓扑

图 2 显示了存在输入功率时的功率流动路径。在这种模式下,有三种运行情景。

- i. 如果电池已充满电,升降压充电器将关闭 BFET。这种情况下,升降压充电器会将调节  $V_{sys}$  到所需要的电压值,并同时向系统输出功率。
- ii. 如果电池未充满电且升降压充电器正在为电池充电,将 BFET 开启。在涓流充电模式下,BFET 会像线性稳压器 (LDO)一样在饱和区域运行,并且  $V_{sys}$  会调节为目标电压。如果充电器处于 CC 或 CV 模式且 BFET 完全开启,则  $V_{sys}$  等于  $V_{bat}$  (假定 BFET 上没有电压降)。假定输入功率 > 系统功率的话,那么输入功率 = 系统功率 + 电池充电功率。
- iii. 电池是否处于充电状态无关紧要。只要系统功率 > 输入功率,  $V_{sys}$  就会出现下降。总之,如果  $V_{sys} < V_{bat} - V_{drop}$ , BFET 中的体二极管就会导通,其中  $V_{drop}$  表示体二极管的典型压降 0.7 V。或者,通过更加复杂的控制, BFET 可能会提前开启以“赶上”和支持  $V_{sys}$ 。无论是哪种情况,电池都会放电,并且电池功率将与输入功率合并来支持系统功率。

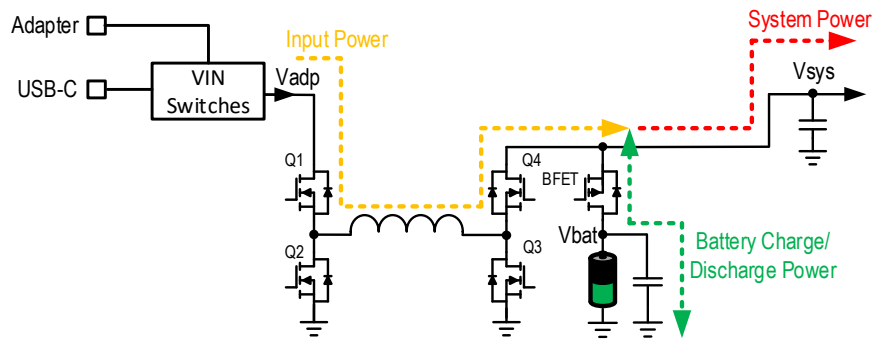


图 2. NVDC 升降压充电器有输入功率时的功率流动路径

图 3 显示了纯电池模式下的功率流动路径。这种模式相对于前一种模式更为简单，因为这种模式下 BFET 始终开启，电池始终向系统供电。在这种模式下， $V_{sys}$  等于  $V_{bat}$ 。

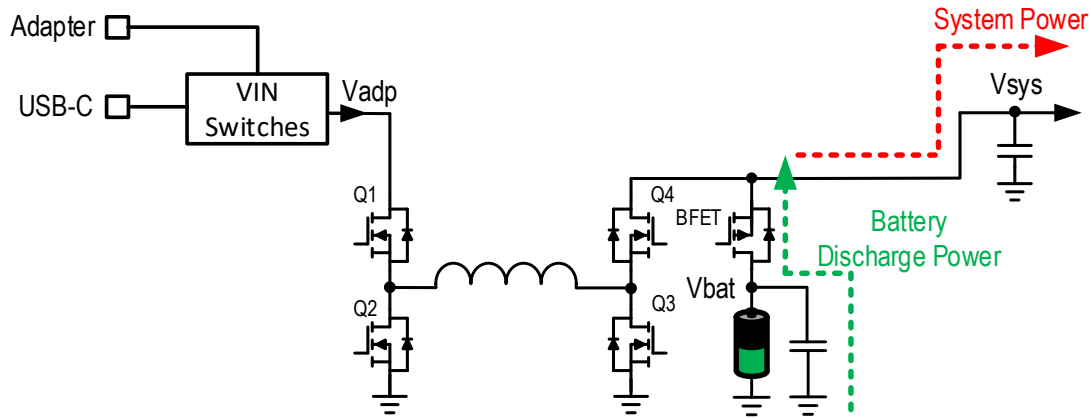


图 3. NVDC 升降压充电器在纯电池模式下的功率流动路径

NVDC 配置的典型功能之一是所有功率都会流经升降压充电器并由其处理，由于存在 MOSFET 开关损耗和导通损耗、电感磁芯损耗、铜损等，功率损耗难以避免。功率电感选择需要额外注意并要选取足够大尺寸的电感来处理整个系统的功率能量以及充电功率。也正因如此，一般需要使用更大的电感器。由此可见，对于功率等级较低的系统，例如 60 W 或更低，NVDC 配置是首选。NVDC 配置的一个优势是控制架构简单。当系统进入 Turbo 模式时，系统功率可能会高于适配器功率，此时充电器只需进行适配器端限流控制。同时，电池会自然通过 BFET 放电，从而自动为系统提供能量支持。

## 瑞萨电子的全新复合功率升降压(HPBB)配置

图 4 显示了全新 HPBB 电池充电器的配置。在这种模式下，输入功率会流经旁路 FET，而不是经过升降压充电器。因此，相比 NVDC 模式可大大降低功率损耗。升降压充电器仅处理电池充电/放电功率，所以这种配置无需较大的电感器。

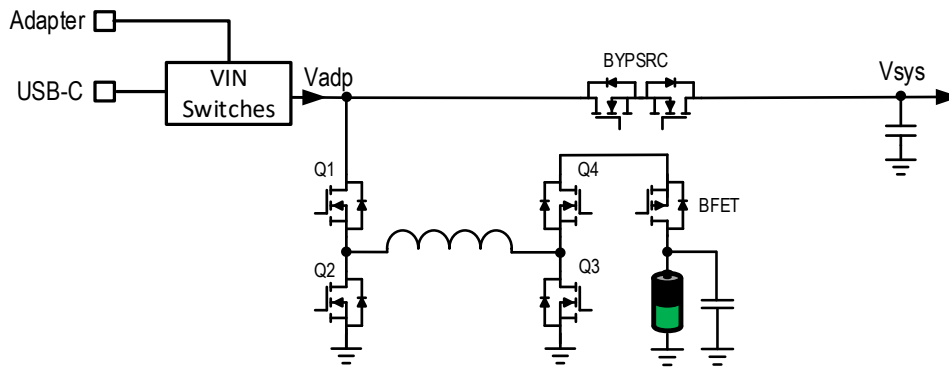


图 4.瑞萨电子 HPBB 升降压充电器架构

当存在输入功率时，这种模式会有两种运行情景：

- i. 输入功率 > 系统功率：如果符合这种条件，则升降压电池充电器不会向系统供电。事实上，如果电池组充满电或正在为电池组充电，则升降压充电器可处于待机模式。图 5 显示了这种情景在 HPBB 模式下的功率流动路径。

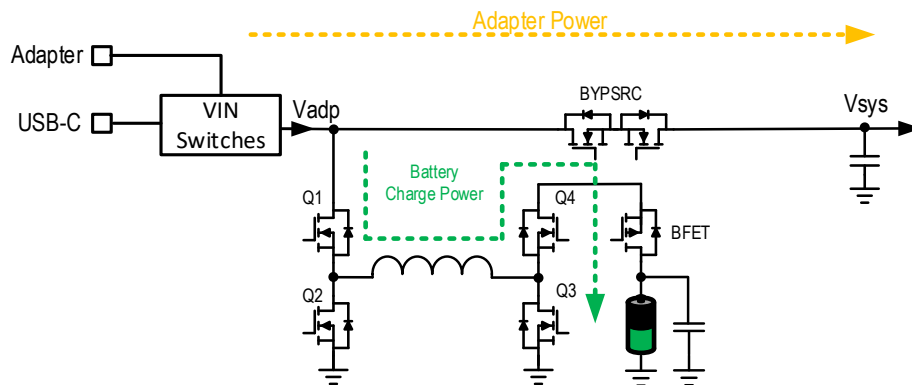


图 5.瑞萨电子 HPBB 升降压充电器配置

- ii. 输入功率 < 系统功率：这种情景下，电池需要放电，并且升降压充电器将以反向模式运行，以便从电池抽取能量供给 Vadp 侧。电池能量会与输入功率合并一起来支持系统功率。这种模式也称为“反向 turbo 增压”模式，图 6 显示了其在 HPBB 模式下的功率流动路径。

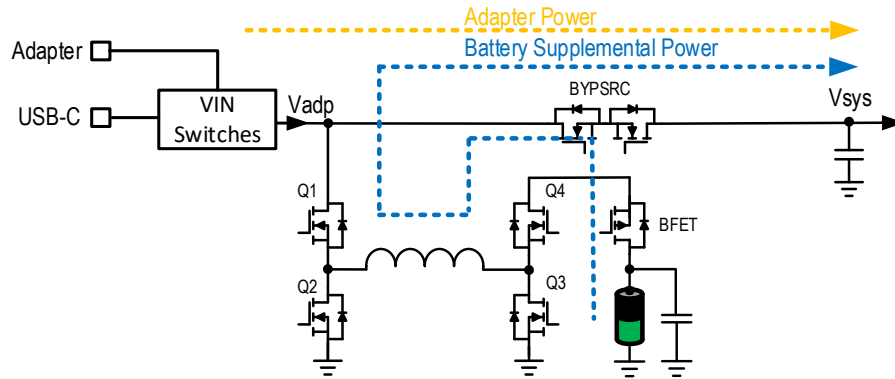


图 6. 处于“反向涡轮增压”模式的瑞萨电子 HPBB 升降压充电器

## 瑞萨电子 ISL9241“复合”升降压电池充电器简介

ISL9241 是瑞萨电子最新推出的升降压充电器产品。该产品是业内唯一一款支持 NVDC 和 HPBB 两种配置的 USB-C 升降压充电器。

在 NVDC 模式下，ISL9241 会自动选择适配器和/或电池作为系统功率来源。此外，ISL9241 NVDC 还支持以 turbo 增压模式运行。它会开启 BGATE FET 将适配器电流限制在设定的适配器限流点，而电池将提供系统所需的其余功率。

在 HPBB 模式下，ISL9241 支持旁路、旁路 + 充电、反向 turbo 增压等模式。

凭借对 HPBB 和 NVDC 两种配置的支持，ISL9241 可为客户的设计带来更多灵活，并可优化系统性能。当使用不同的电源时，例如 AC/DC 适配器或从 USB-PD 端口供电，这两种模式可通过 EC（嵌入式系统控制器）中的主机固件重新配置。

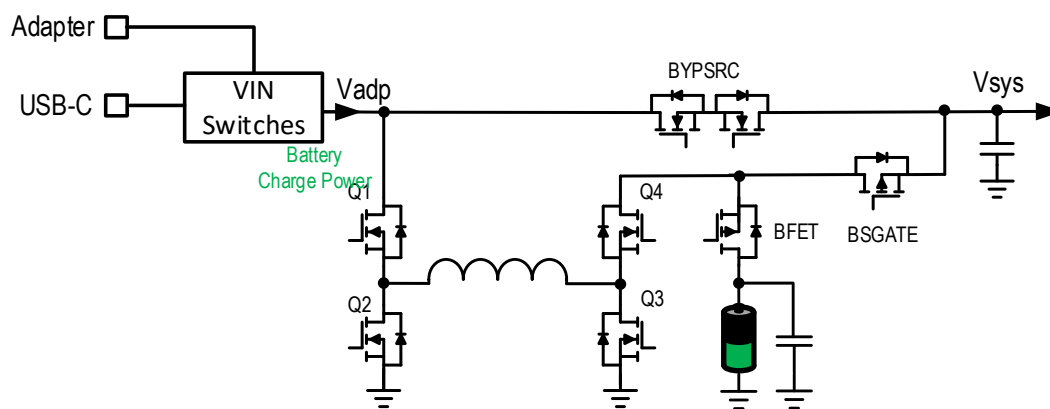


图 7. 支持 NVDC 和 HPBB 两种配置的 ISL9241 复合升降压充电器

ISL9241 提供充电功能、系统总线调节以及保护功能，仅使用 NFET 以优化效率和 BOM 成本。它采用了瑞萨电子先进的 R3™ 控制技术，以提供极其高效的轻负载充电模式。ISL9241 具有可重新配置寄存器的功能，可针对多种功率水平采用经过优化的较小电感器，并提高效率。

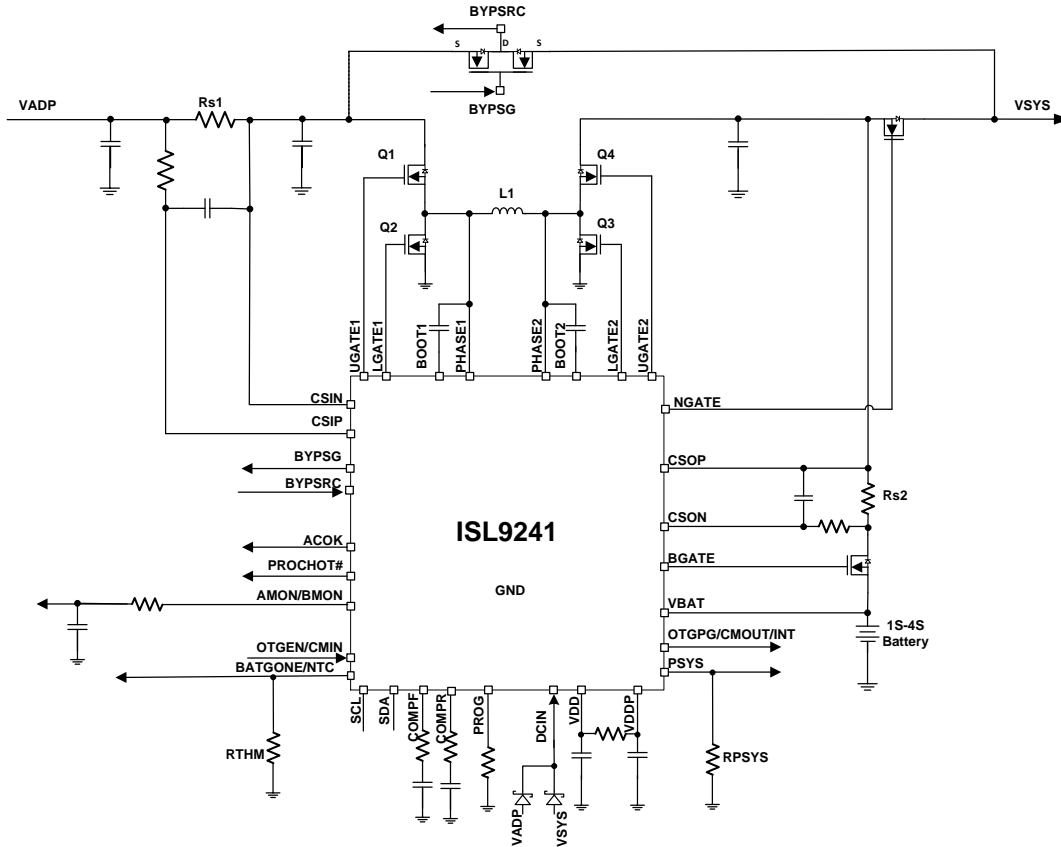


图 8. ISL9241 复合升降压充电器的典型应用示意图

ISL9241 可从各种 DC 电源（传统适配器、旅行适配器、USB type-C 电源端口等）获取输入功率，并可以为多达 4 芯串联锂离子电池组安全充电。此外，ISL9241 还提供自动开始充电及自动 EOC（结束充电）功能。HPBB 的旁路模式通过系统中控制器的固件进行控制，使适配器能够直接向系统供电。

ISL9241 支持从 2 芯至 4 芯电池构成的电池组向适配器端口执行反向降压、增压或升降压操作（OTG 模式）。这样的配置能够支持对可编程电源(PPS)端口执行 USB-C 供电(PD)输出。ISL9241 可使用纯电池、纯适配器或两者相结合的方式运行。系统电源可由适配器、电池或两者的组合提供。对于符合 Intel IMVP 规范的系统，ISL9241 提供系统功率 (PSYS) 监控功能，可输出代表系统平台总功率的模拟信号。PSYS 输出将连接到各种 IMVP 核心电压调节变换器来提供符合 IMVP 规范的供电管理功能。此外，ISL9241 还包含处理器过热(PROCHOT#)监控器，并支持 Supplemental 工作模式，可确保电池电压高于规定的最低电压值，从而满足 Intel 的 Vmin 自适应保护(VAP)要求，避免系统因欠压关机并延长系统工作时间。ISL9241 串行通信采用 SMBus/I<sup>2</sup>C，支持编入大量关键参数来提供定制解决方案。

ISL9241 会一直监控其运行情况，并通过中断来传达其故障/警告状态。ISL9241 中集成了 8 位 ADC，支持关键的系统参数遥测功能，例如温度（PCB 和结温）、适配器电流/电压、电池充电/放电电流和系统总线电压。

ISL9241 采用可重新配置的充电架构，使用户能够灵活利用充电器进行多端口配置，以满足系统的设计要求。由于它支持多端口 USB-C，用户可创建多端口 USB-C 系统，同时仍可完全满足 USB-PD 3.0 标准的要求。

对于双单元至四单元电池组，ISL9241 的输入电压范围为 3.9 V 至 23.4 V，输出电压范围为 3.9 V 至 18.304 V；对于便携式电源，电压最高可达 20 V；在嵌入式控制器未发出通信的情况下，还可以启用自动充电和自动充电结束功能。自动传感功能使设备能够在电池电量耗尽时进入涓流充电模式；包含可用于双电平适配器限流的设置；此外，电池学习模式可校准电池电量计。可编程功能采用 SMBus 或 I<sup>2</sup>C 接口，使用户能够灵活地进行各种设计。

# 瑞萨电子设计工具

## 评估板/用户指南

我们针对 ISL9241 提供评估板和详细的用户指南，以供客户测试和评估。评估板的图片如图 9 所示。

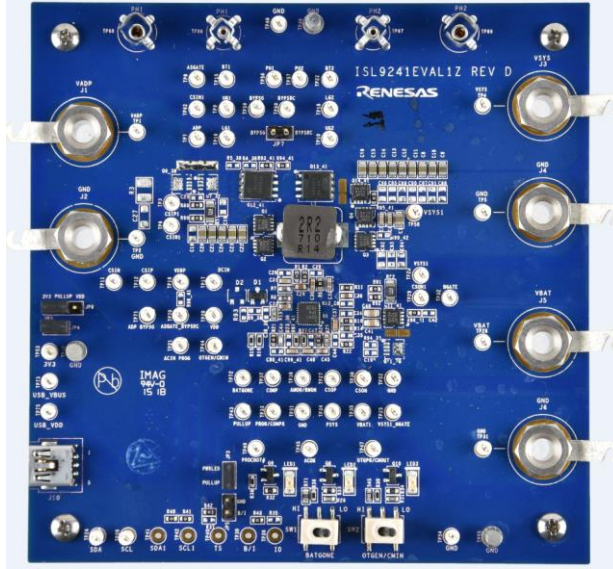


图 9. ISL9241 评估板

## ISL9241 GUI

瑞萨电子提供的 ISL9241 GUI 软件有助于加速设计、测试、完成及调试电池充电器设计。它可以连接到开发板来设置各种可调系统参数和阈值。图 10 显示了 ISL9241 GUI 软件窗口的示例。

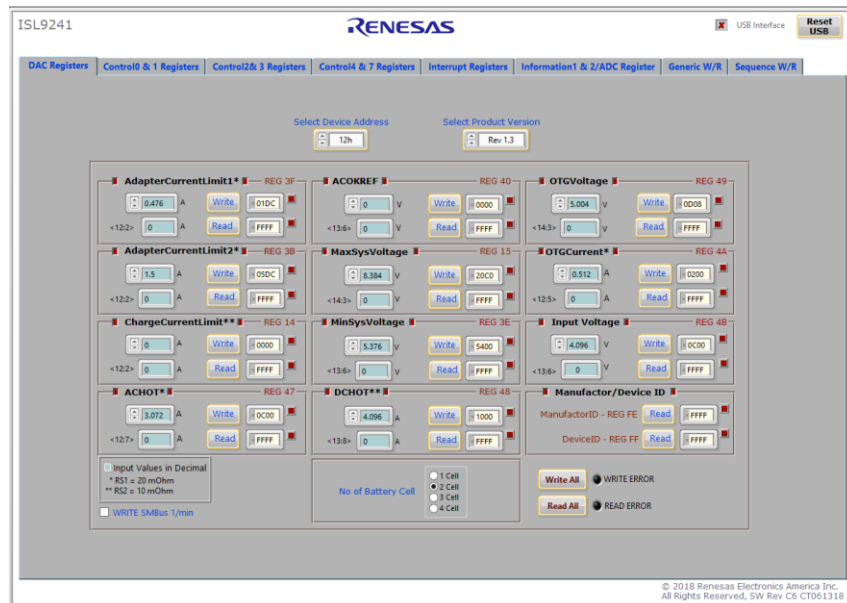


图 10. ISL9241 GUI 屏幕截图

---

## 其他资源

有关瑞萨电子为电池充电器设计提供的其他在线资源，请访问：<https://www.renesas.com/us/en/products/power-management/battery-management-systems/multiple-cell-battery-chargers.html>

## 结论

本白皮书概述了当今消费型移动计算设备（例如笔记本电脑）的电池充电拓扑和运行原理。电池充电器是用于移动设备电源管理的关键组件，它不仅要为电池组充电，还要管理从适配器到计算设备的整个功率流动。在计算机系统中，电池充电器需要与嵌入式控制器(EC)等其他系统管理设备无缝协作，才能高效地满足系统电源需求。ISL9241 提供 NVDC 和 HPBB 两种配置，便于灵活地从两种模式中任选择一种来优化电池充电器设计。ISL9241 的内部寄存器与瑞萨电子的其他现有充电器产品（例如 ISL9238）高度兼容。因此，当把基于瑞萨电子其他充电产品的设计方案迁移到使用 ISL9241 的新设计方案时，开发工作可以大大减少。此外，EC 中用于 NVDC 模式的固件只需进行小幅修改即可使 ISL9241 在 HPBB 模式下运行，因此可减少跨多个计算平台使用 ISL9241 时所需的开发和认证工作。

© 2018 Renesas Electronics America Inc. (REA). All rights reserved. 所有商标或商业名称均是其各自所有者的资产。REA 认为本档所含的信息在提供时准确无误，但对其质量或使用不承担任何风险。所有信息均按原样提供，不作任何种类的担保，无论是明示、暗示、法定担保，还是因交易、使用或贸易惯例引发的担保，包括但不限于对适销性、对特定目的适宜性或非侵权性的担保。REA 对因使用或依赖本档所含信息造成的任何直接、间接、特殊、结果、偶然或其他损失概不负责，即使已提示相关损失的可能性亦不例外。REA 保留停止这些产品或更改其产品设计或规范或本档其他信息的权利，恕不另行通知。所有内容均受美国和国际版权法保护。除非本文明确声明，否则未经瑞萨电子（美国）事先书面许可，不得以任何形式或方式复制本材料的任何部分。访客或用户不得因任何公开或商业目的而修改、分发、发布、传播本材料的任何内容或制作其衍生作品。