

Design Guide: TIDA-050047

适用于 2-4 节电池的集成式 USB Type-C® PD 和充电参考设计



说明

适用于 2-4 节电池的集成式 USB Type-C® PD 和充电参考设计是一款 2 合 1、USB Type-C 和 PD 控制器，并附带一个电池充电系统。除了标准的 USB Type-C 通信、电力输送协商、电源角色交换和数据角色交换之外，本参考设计还可支持通过 USB Type-C 端口为 2 节到 4 节串联电池充电。在无需任何外部 FET 的情况下，此电路板可提供高达 5A 的充电电流，从而显著缩小设计尺寸、降低总 BOM 成本，等等。此外，也不需要外部微处理器，因为 USB-PD 控制器可以处理与电池充电器集成电路 (IC) 的 I²C 通信。因此，无需执行任何固件开发工作，并且本设计可大幅缩短产品上市所需的总时间。

资源

TIDA-050047	设计文件夹
TPS25750 、 BQ25798	产品文件夹
TPS54531 、 TLV755P	产品文件夹
TVS2200	产品文件夹

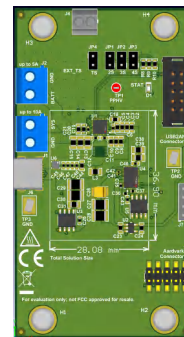
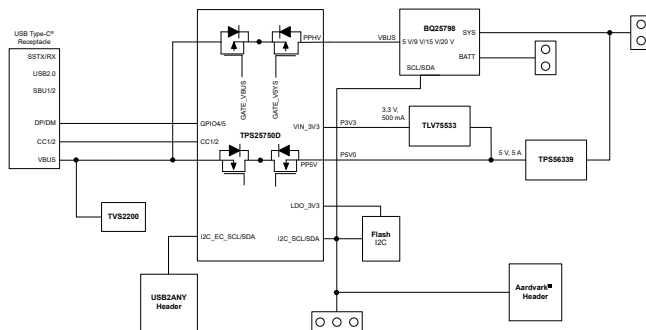
特性

- 可配置为“供电/受电”或“纯受电”电源角色
- 通过二进制自动售货机 GUI 选择的配置选项
- 全面的电源路径管理和保护
- 支持 2-4 节串联电池的充电
- 可在降压、降压/升压和升压功能之间进行无缝转换
- 在供电模式下支持 OTG 模式

应用

- [电池包：无绳电动工具](#)
- [零售自动化和支付](#)
- [无线扬声器](#)
- [耳麦、耳机和耳塞](#)
- [便携式电子产品](#)
- [工业](#)

咨询我们的 TI E2E™ 支持专家



1 系统说明

集成式 USB Type-C PD 和充电参考设计是一种 USB Type-C 和 PD 控制器系统，并附带一个支持 66W 受电功率和最高达 45W 供电功率的电池充电系统。除了 USB Type-C 通信和电力输送协商之外，本参考设计还支持通过 USB Type-C 端口为 2 节到 4 节串联电池充电。

此电路板可提供高达 18.8V/5A 的充电能力，无需任何外部 FET。此外，也不需要外部微处理器，因为 USB-PD 控制器可以处理与电池充电器 IC 的 I²C 通信以便配置相应的功能。一些示例包括设置充电电压、充电电流以及对其进行配置以支持 OTG 模式。

1.1 关键系统规格

表 1-1. 关键系统规格

参数	规格	详细信息
受电功能	5 V - 20 V	USB Type-C 输入端 VBUS
供电功能	5 V - 20 V	BQ25798 输出
电池配置	2 节 - 4 节	电池节数
充电电流	最高 5A	电池充电电流
OTG 功能	高达 45W	电池供电功率

2 系统概述

2.1 方框图

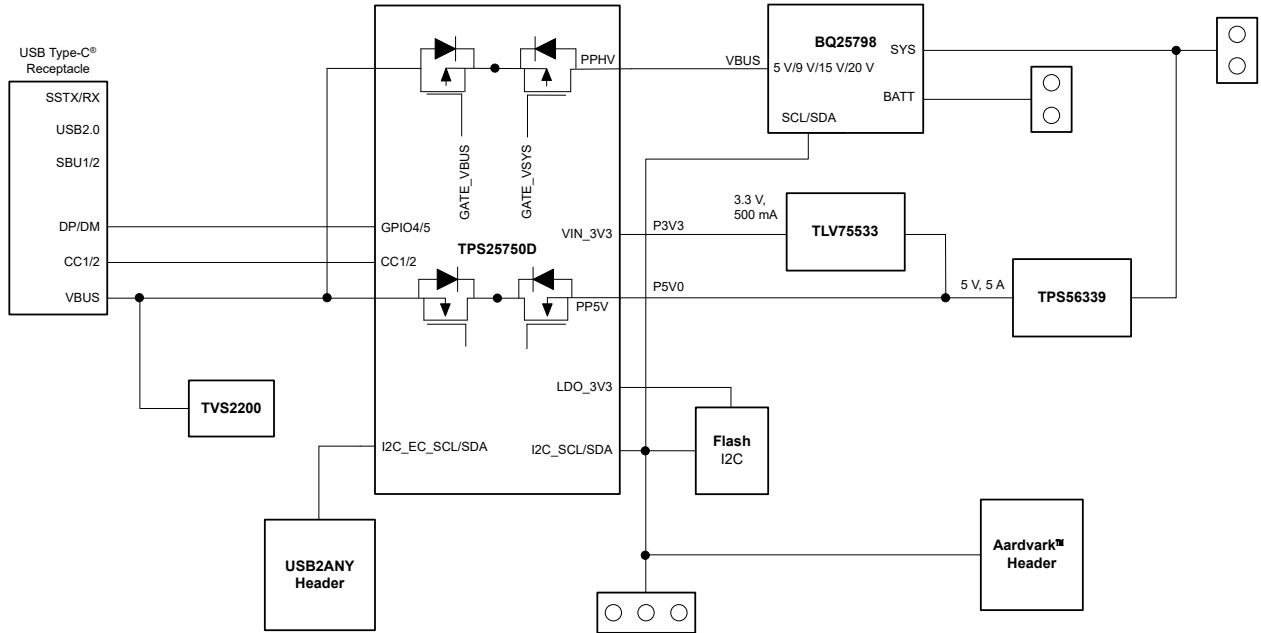


图 2-1. TIDA-050047 方框图

2.2 设计注意事项

TIDA-050047 中的示例展示了如何将能够处理高功率和大电流的开关电池充电器与 USB Type-C PD 系统一同使用。本设计可用于电动工具、移动电源以及各种其他个人电子系统。本设计可帮助实现不同的功能，包括为电池充电、为系统供电或切换到 OTG 模式，以通过 USB Type-C 连接器为连接的器件供电。

2.3 重点产品

2.3.1 TPS25750D

TPS25750D 是一款独立式 USB Type-C 和电力输送 (PD) 控制器，可为单一 USB Type-C 连接器提供电缆插拔和方向检测功能。在电缆检测过程中，TPS25750D 在 CC 线上通过 USB PD 协议进行通信。完成电缆检测和 USB PD 协商后，TPS25750D 会根据合约协商和配置情况来启用相应的电源路径，从而进行供电或受电。

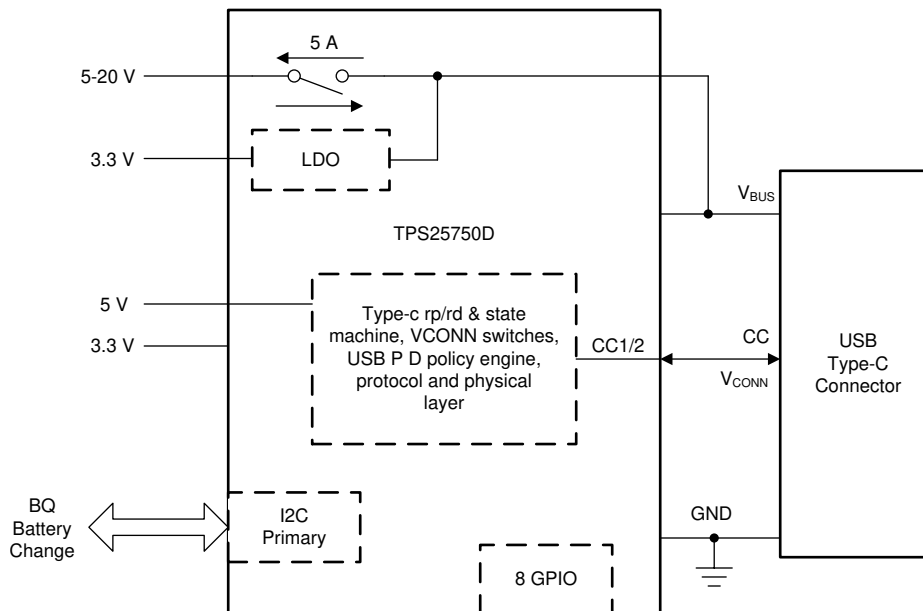


图 2-2. TPS25750D 典型应用电路

2.3.2 BQ25798

BQ25798 是一款旨在用于 1-4 节串联锂离子和锂聚合物电池的集成式开关模式降压/升压电池充电管理器件。充电器采用窄 VDC 架构 (NVDC)，即使电池完全放电，也能将系统调节至最小值。此外，BQ25798 支持通过 D+ 和 D- 进行输入源检测，兼容 USB 2.0、USB 3.0 电力输送、非标准适配器和高压适配器。BQ25798 具有双输入源选择功能，支持 USB OTG，并且集成了一个 16 位多通道模数转换器 (ADC)，是一款完整的充电设计。

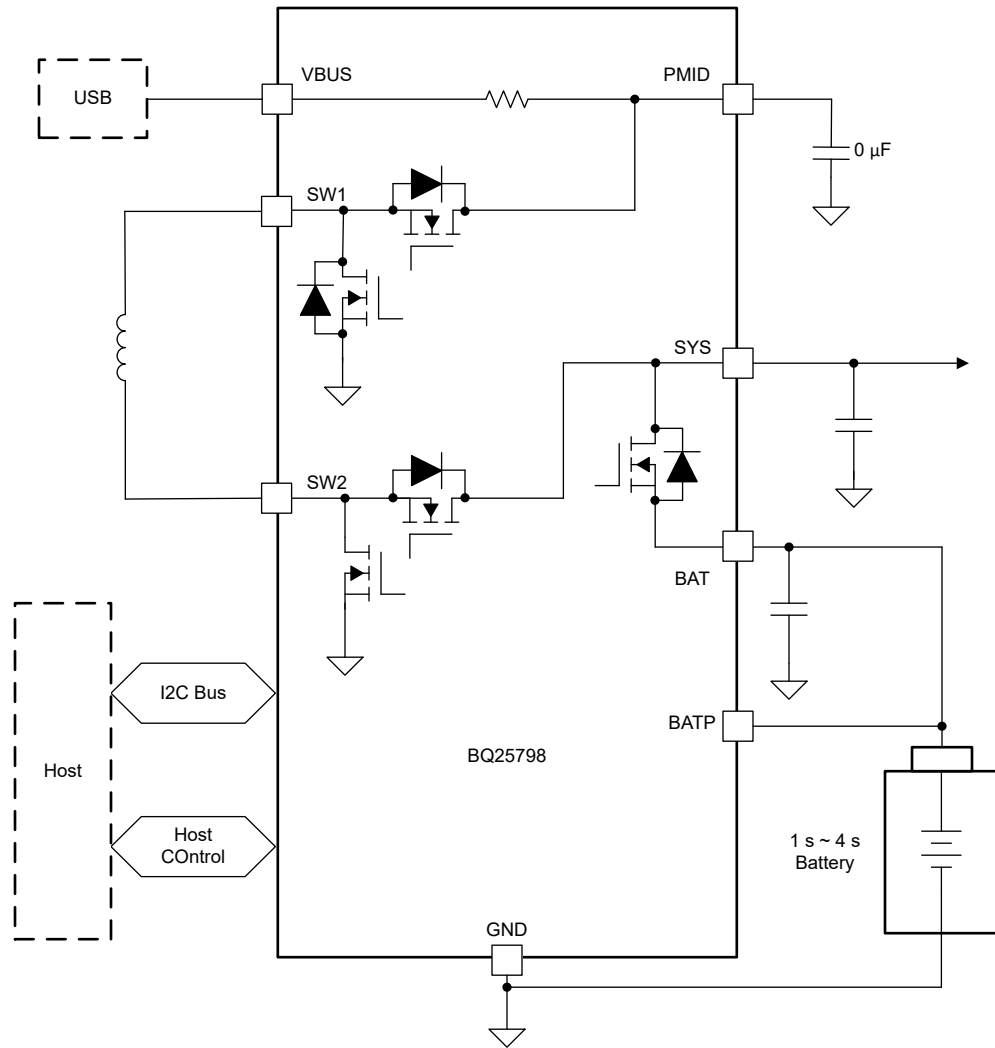


图 2-3. BQ25798 典型应用电路

2.4 系统设计原理

以下几节将重点介绍 TIDA-050047 设计的子系统，讨论这些子系统的特性以及它们的实现方式。本节说明了 TPS25750D PD 控制器如何通过 I²C 与 BQ25798 进行连接，从而实现更简单的设计，且无需任何外部 FET 或进行任何固件开发。

2.4.1 TPS25750D PD 控制器

TPS25750D 是一款高度集成的独立式 USB Type-C 和电力输送 (PD) 控制器，针对支持 USB-C PD 电源的应用进行了优化，并可提供强大的保护功能和全面管理的内部电源路径。该器件具有两个 I²C 端口，其中一个为主端口，该端口连接到电池充电器以传送正确的配置，从而进行相应设置以支持充电模式、充电电流、OTG 模式，等等。主端口可与接头 J7 搭配使用，以与 BQ25798 进行通信。第二个 I²C 端口 (从端口) 可用于直接对 TPS25750 进行编程，并可通过主机微控制器 (MCU) 对 BQ25798 进行编程，或同时对两者进行编程，J3 上提供了该端口。

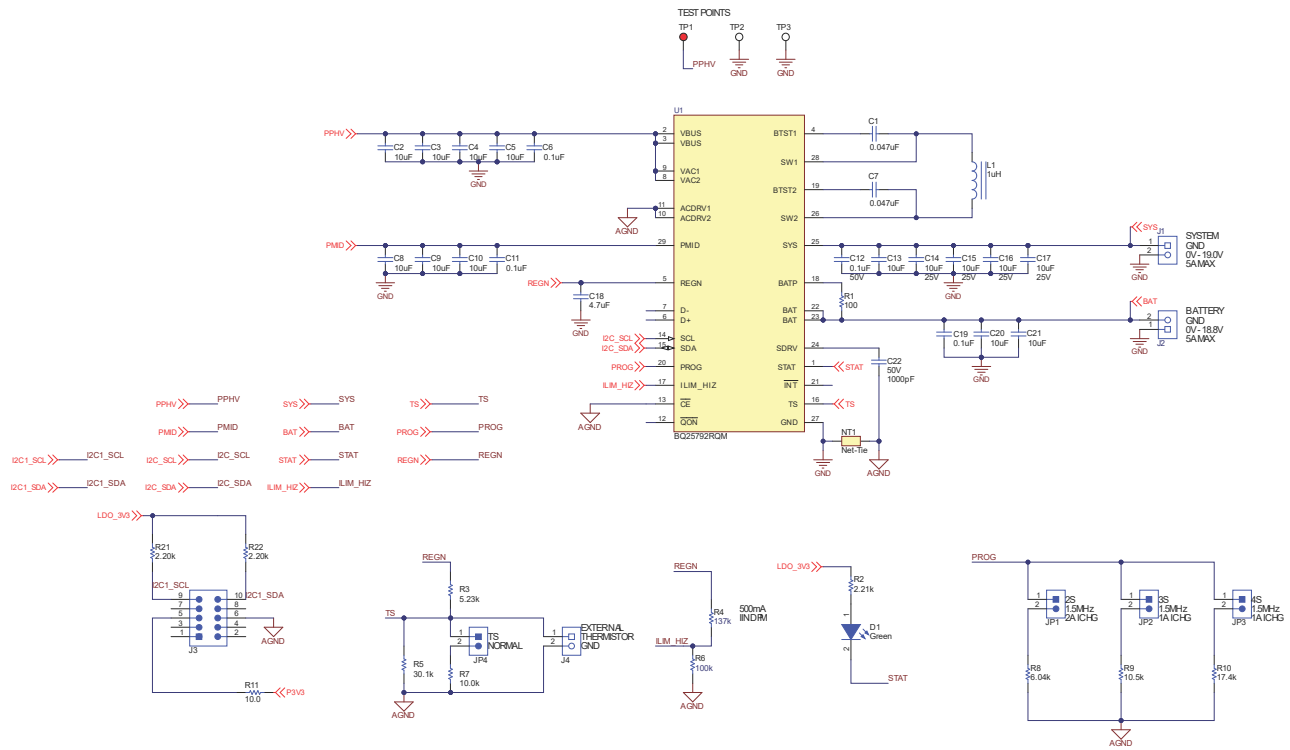


图 2-5. BQ25798 原理图

2.4.3 TPS54531 降压转换器

对于供电功能，本设计使用 PP5V 电源路径来提供 5V 电源，并使用 PPHV 电源路径来提供更高的电压。因此，为了在 VBUS 上保持恒定的 5V 系统电源来为 PD 控制器供电并实现 VCONN 支持，需要一个降压转换器。由于选择了降压拓扑，需要将 2 节到 4 节串联电池与 TPS54531 配合使用，以便利用电池作为输入实现 5V 输出运行。在本设计中，TPS54531 提供了一种很好的选择，该器件具有集成的 FET 和宽输入电压范围。该转换器将连接到电池充电器的系统电源轨，因此它可以接受 3.5V 至 28V 范围内的任何输入电压，并提供支持高达 5A 电流的 5V 输出。对于“纯受电”应用，不需要使用该器件，并且可以省略 5V 电源轨。

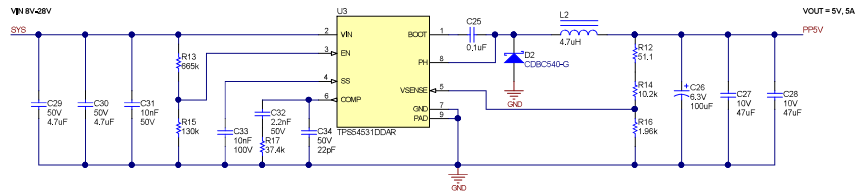


图 2-6. TPS54531 降压转换器原理图

2.4.4 TLV75533 LDO

如需在系统需要供电时为 TPS25750D 器件上电，还必须提供 VIN_3V3 输入引脚。因此选择了 TLV75533 以提供所需的 3.3V 电压来为 PD 控制器供电。此器件的输入连接到 TPS54531 的 5V 输出，该输出将降至 3.3V。但是，“纯受电”应用不需要此输入电源，因此在这种情况下也可以省略 3.3V 电源轨。

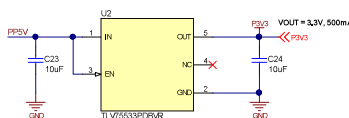


图 2-7. TLV75533 原理图

2.4.5 USB Type-C® 插座

图 2-8 显示了本设计使用的 USB Type-C 插座的原理图。通过这个插座，可以将通信 (CC1 和 CC2) 和 VBUS 引脚相应地映射到 TPS25750D PD 控制器。此外，还在本设计中的 USB Type-C 端口上添加了 TVS2200 二极管 (一种 22V 精密浪涌保护钳位器)，以加强保护。

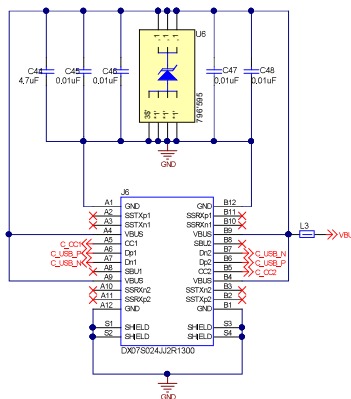


图 2-8. USB Type-C® 插座电路与 TVS2200

2.4.6 编程支持组件

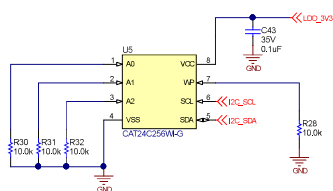


图 2-9. 闪存 IC

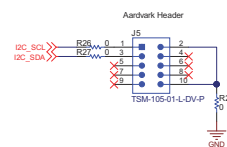


图 2-10. Aardvark™ 连接器

3 硬件、软件、测试要求和测试结果

3.1 硬件和软件要求

若要对 TIDA-050047 进行全面测试，需要使用以下元件：

1. 运行基于网络的 TPS25750 应用程序自定义工具 GUI 的 Microsoft® Windows® PC
2. TIDA-050047 板
3. 用于电池连接测试的双向电源
4. 大电流 USB Type-C 电缆
5. 用于系统连接测试的电子负载或电阻负载

3.2 应用程序自定义工具

配置过程

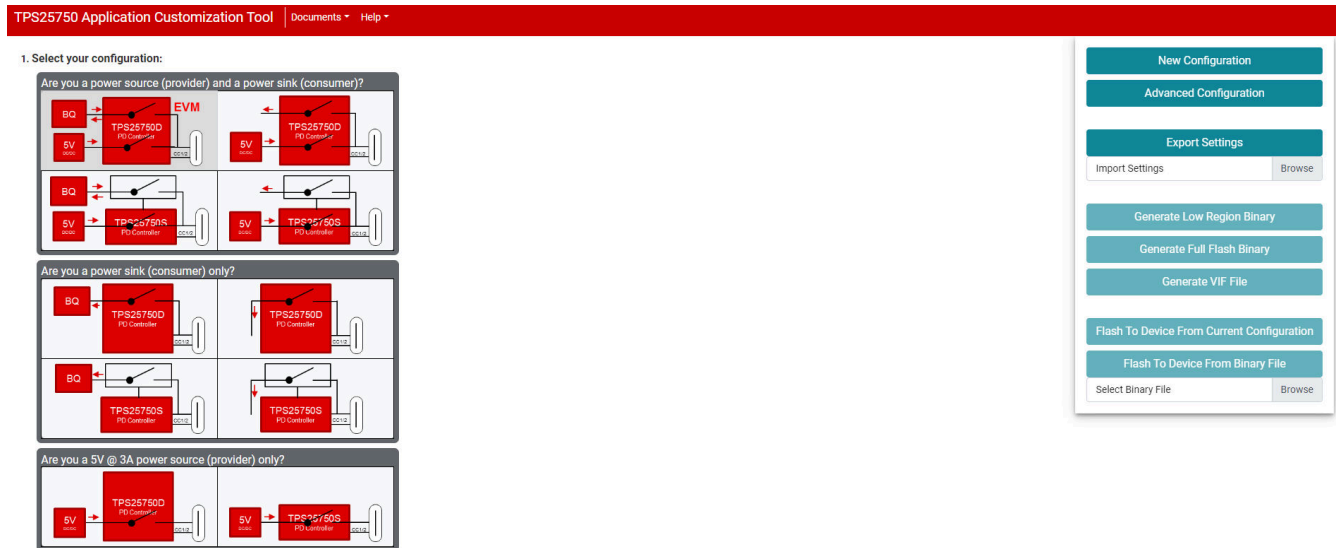


图 3-1. TPS25750 应用选择

首先，根据应用选择配置。对于本参考设计，选择第一个选项，这也是默认选项，如图 3-1 所示。

- 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. 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)
- 6. 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

图 3-2. 支持的电源问题

问题 2 到 6 用于设置本参考设计所需的电源和数据配置。TIDA-050047 能够提供高达 45W (15V/3A 或 20V/2.25A) 的供电功率和高达 66W 的受电功率。您可以根据自身偏好选择想要测试的设置。对于本参考设计，可遵循图 3-2 中显示的设置。

- 7. Do you have a Vendor ID provided by the USB-IF?**
- Yes, enter here as a 4-digit hexadecimal number:
 - No, use the TI Vendor ID in the Vendor Information File (VIF)
- 8. Do you have a desired Product ID?**
- Yes, enter here as a 4-digit hexadecimal number:
 - No, use "0x0000" as the Product ID

图 3-3. 供应商或产品 ID 信息

问题 7 和 8 与供应商 ID 和产品 ID 有关，这些 ID 并非必要的，但如果您想输入自有 ID，可以在此处输入。对于此工程，这两个问题均可选择第二个选项。

Battery Charger Configuration

9. Select the battery charger component to integrate:

- BQ25790, BQ25792, or BQ25798
- BQ25713
- BQ25731

10. What is the battery charging voltage?

 V

11. What is the battery charging current?

 A

12. What is the charge termination current?

 A

13. What is the pre-charge current?

 A

图 3-4. 电池充电器问题

最后一个部分提出了有关电池充电器配置的问题。本设计中使用的电池充电器是 BQ25798，所以此处可以选择第一个选项。下面的问题可以填写您希望如何进行测试。例如：

- 对于电池充电电压，可选择为 3 节串联电池输入 12V 电压
- 电池充电电流可设置为 3A
- 充电终止电流的下限将设置为 400mA，这是电池几乎达到满容量时的充电电流
- 预充电电流取决于所选的电池充电器，为 BQ25798 器件选择 400mA

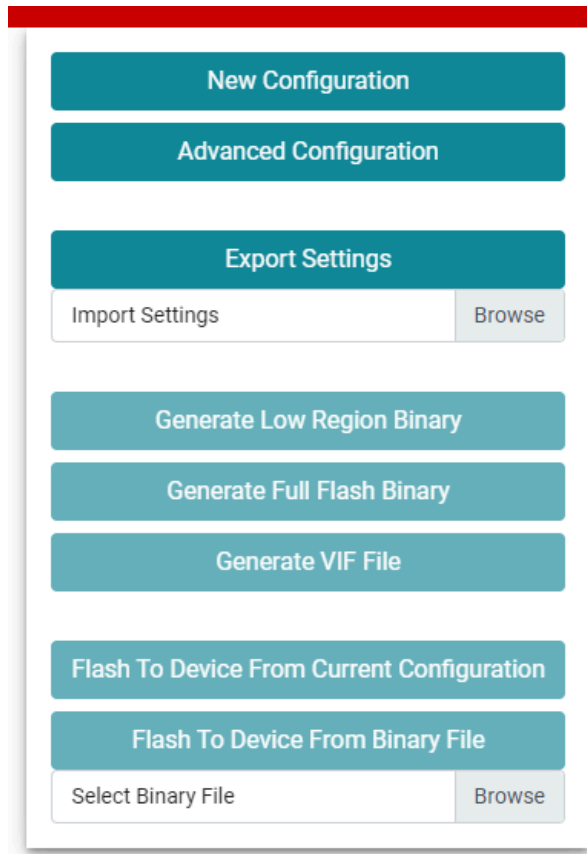


图 3-5. 导出所选设置

回答完所有问题后，便可对配置文件进行编程了。此处有几个选项可用于执行此操作，较简单的选项是使用 Aardvark™ 接头。使用 *Generate Full Flash Binary* 选项导出二进制文件，然后使用“Flash Center by Total Phase”将所选配置编程到 TPS25750D。如果客户电路板使用 TIVA 芯片，则可使用 *Flash To Device From Current Configuration* 对二进制文件进行刷写。

3.3 测试设置

对配置进行编程后，若要测试 TIDA-050047 参考设计，需要在通电前进行一些连接。

首先，TIDA-050047 需要通电。为了提供为 TPS25750D 供电（以便为其他器件供电）以及为 BQ25798 供电所需的电源，可以将双向电源连接到 J2 处的电池 (BATT) 插座。根据 JP1-JP3 的电池配置跳线设置，电源上的电压可以设置为相应的电压，而对于电流上限要求，1A 足以满足测试需求。还需要插入 JP4 跳线以实现默认热敏电阻设置。

正确连接后，即可打开电源。BATT 上的电源为 BQ25798 和连接至 TPS25750D 的必要 5V 和 3.3V 降压转换器和 LDO 供电。一旦 PD 控制器上电，它将加载已在闪存 IC 上编程的工程配置，从而根据在应用程序自定义工具中选择的选项运行。

TIDA-050047 现在已准备好通过 USB Type-C 电缆连接至伙伴端口，以便根据协商结果供电或受电。

要测试“纯受电”应用（例如在电池电量耗尽的模式下），可以进行相同的连接，但这一次不需要在 BATT 引脚上供电，而是通过受电来模拟电池充电过程。因此，一旦设置了正确的跳线，当 USB Type-C 电缆连接到可提供供电功能的伙伴端口时，TPS25750D 将使用 VBUS 进行上电，并不会从闪存加载正确的配置以对 BQ25798 进行编程来实现电池充电。

3.4 测试结果

启动时，TPS25750D PD 控制器将发送初始 I²C 命令以设置 BQ25798 电池充电器进行充电以及设置电池节数等等。为确保获得正确功能，该器件根据基于网络的 Application Customization Tool 提供的答案来确定这些初始命令。在协商 5V 受电 PDO 合约后，PD 控制器将根据此特定配置来设置降压/升压电池充电器 BQ25798，使其 V_{IN} 为 5V 并以 1A 电流为电池充电。

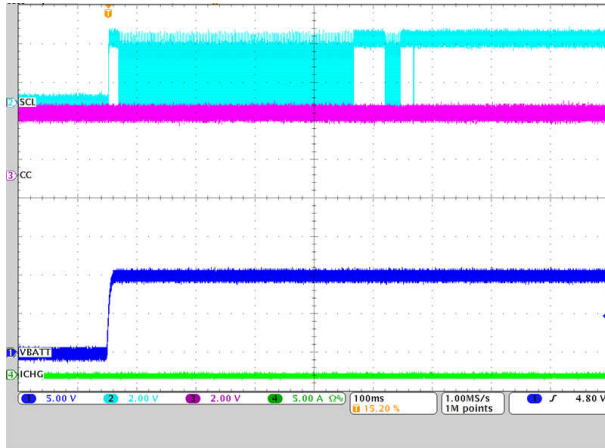


图 3-6. 上电复位 (POR) 命令

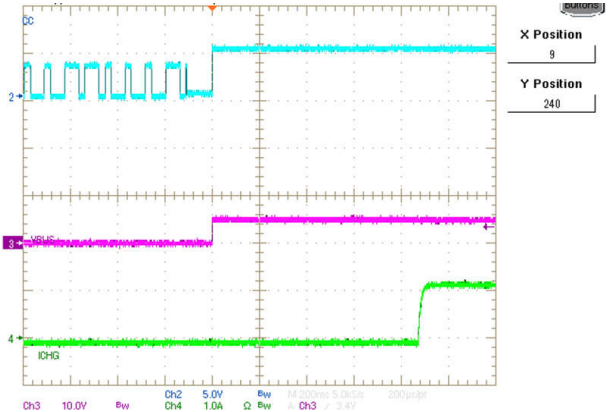


图 3-7. 为电池充电的 5V 受电合约示例

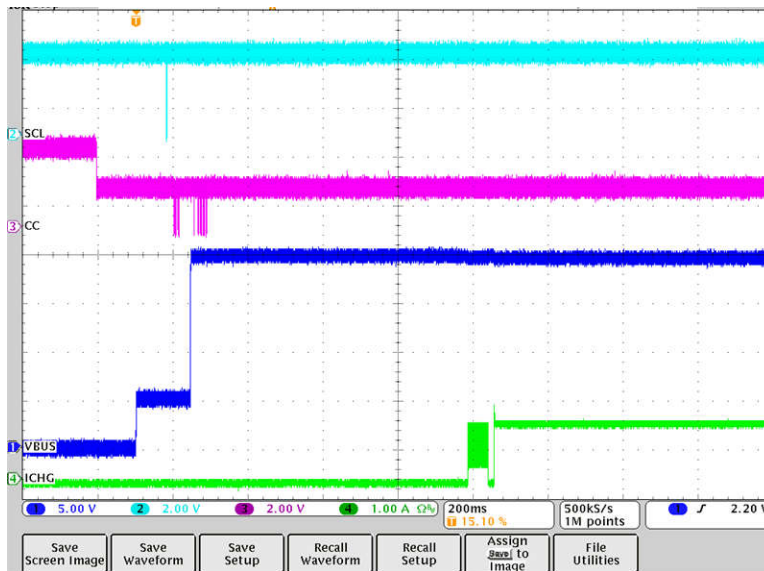


图 3-8. 20V/1A 受电充电

同样，在协商 20V 受电 PDO 合约后，可以看到相同的行为，此时 PD 控制器将 V_{IN} 设置为 20V，同时保持充电电流为 1A。

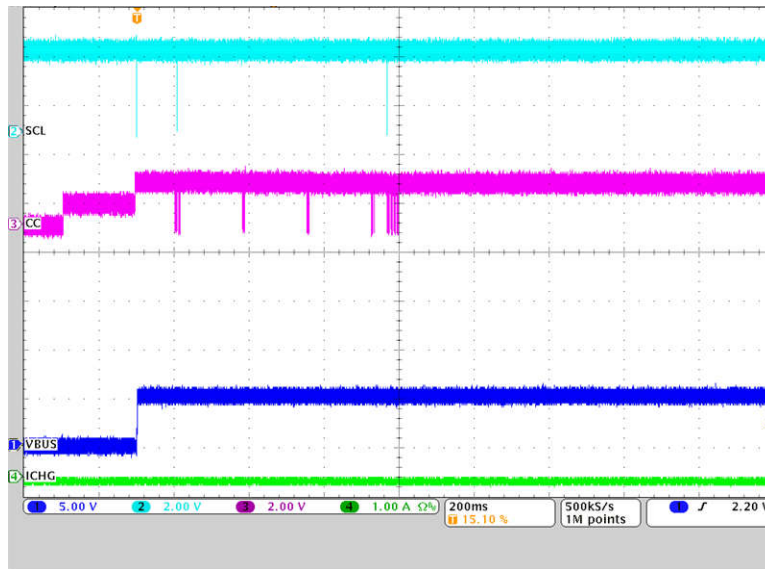


图 3-9. 在 OTG 模式下使用 BQ25798 提供 5V 电源

当 TPS25750D 协商供电 PDO 合约时，器件将 BQ25798 配置为在 OTG 模式下运行，以便电池可以为伙伴端口提供所需的电源。在这种情况下，BQ25798 需要将电池电压提升至 5V，以便为另一个器件供电。

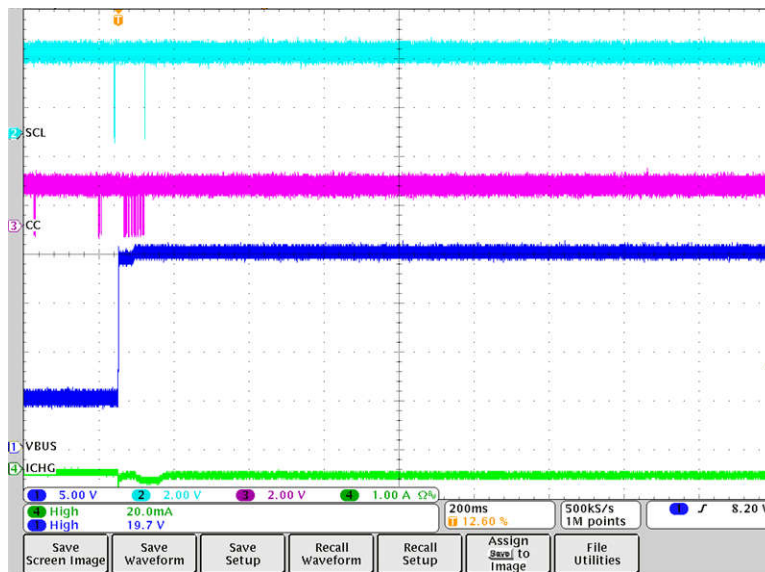


图 3-10. 在 OTG 模式下使用 BQ25798 提供 20V 电源

当伙伴端口和 TPS25750D 协商使用 TPS25750D 作为供电器件的 20V 合约时，可以观察到相同的行为。

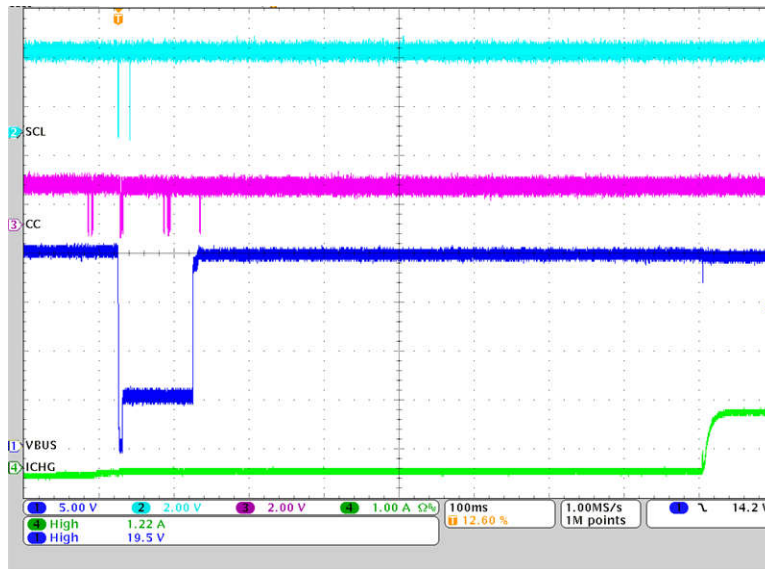


图 3-11. 从供电到受电的电源角色交换

USB Type-C PD 控制器 (例如 TPS25750D) 的特性之一是能够根据某些条件的变化来执行电源角色交换。在相应的图中, 最初在 VBUS 为 20V 但充电电流为 0 A 时可以观察到供电, 然后在 PD 控制器需要成为受电器件并且两个器件都接受此更改的情况下会执行复位或重新协商。因此, VBUS 变为 0V, 然后协商 20V 受电 PDO 合约。电源角色交换完成后, TPS25750D 将 BQ25798 配置为在充电模式下以 1A 电流进行充电, 这一情况可以在捕获结束时看到。

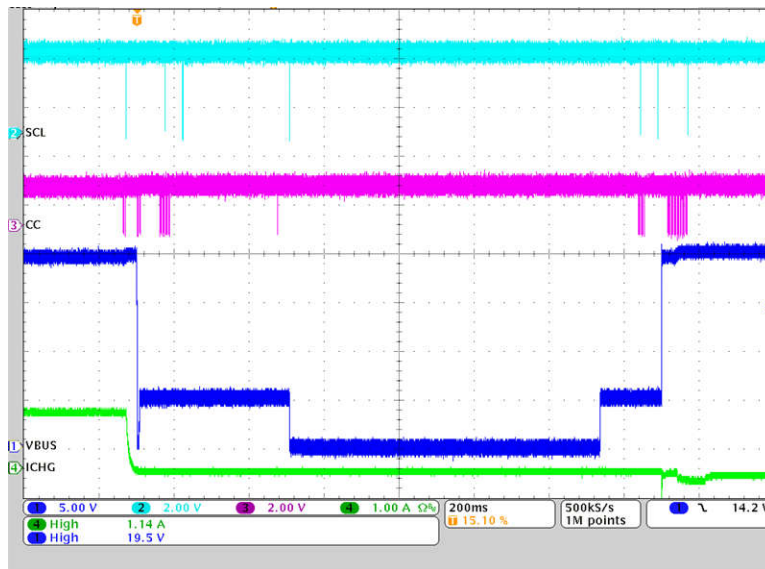


图 3-12. 从受电到供电的电源角色交换

同样, 可以按相反的顺序执行相同的操作: 首先是将 TPS25750D 作为受电器件并为电池充电, 然后与伙伴端口重新协商供电合约并使用 BQ25798 进行 20V 供电。

4 设计和文档支持

4.1 设计文件

4.1.1 原理图

若要下载原理图，请参阅 [TIDA-050047](#) 的设计文件。

4.1.2 BOM

若要下载物料清单 (BOM)，请参阅 [TIDA-050047](#) 的设计文件。

4.1.3 Altium 项目

若要下载 Altium Designer® 工程文件，请参阅 [TIDA-050047](#) 的设计文件。

4.2 软件

若要下载所需的软件二进制文件来为本参考设计配置 TPS25750D，请参阅 [TIDA-050047](#) 的设计文件。

4.3 文档支持

- 德州仪器 (TI)，[TPS25750 针对电源应用进行了优化且具有集成电源开关的 USB Type-C® 和 USB PD 控制器数据表](#)
- 德州仪器 (TI)，[BQ25798 具有双输入选择器、用于太阳能电池板的 MPPT 和快速备份模式的 I²C 控制、1 节至 4 节、5A 降压/升压电池充电器数据表](#)
- 德州仪器 (TI)，[适用于 TPS25750 且基于网络的 Application Customization Tool 指南](#)

4.4 支持资源

[TI E2E™ 中文支持论坛](#) 是工程师的重要参考资料，可直接从专家处获得快速、经过验证的解答和设计帮助。搜索现有解答或提出自己的问题，获得所需的快速设计帮助。

链接的内容由各个贡献者“按原样”提供。这些内容并不构成 TI 技术规范，并且不一定反映 TI 的观点；请参阅 TI 的[使用条款](#)。

4.5 商标

TI E2E™ is a trademark of Texas Instruments.

Aardvark™ is a trademark of Total Phase, Inc.

USB Type-C® is a registered trademark of USB Implementer's Forum.

Microsoft® and Windows® are registered trademarks of Microsoft Corporation.

所有商标均为其各自所有者的财产。

5 作者简介

Hari Patel 是德州仪器 (TI) 的一名应用工程师，负责提供 USB Type-C 和 PD 控制器方面的支持。Hari 在佛罗里达州盖恩斯维尔 (Gainesville) 的佛罗里达大学获得了电气工程专业理学学士学位和理学硕士学位。

6 修订历史记录

注：以前版本的页码可能与当前版本的页码不同

Changes from Revision A (Sep 2023) to Revision B (Apr 2024)

Page

- | | |
|------------------------|---|
| • 更新了 BQ25798 原理图..... | 1 |
|------------------------|---|

Changes from Revision * (November 2020) to Revision A (September 2023)	Page
• 修订版 A 更新了设计指南，将 BOM 和所有文档中的 BQ25792 更改为 BQ25798。此外，还对 GUI 图像进行了小幅更新，并阐明了受电和充电功能.....	1
• 添加了有关 TPS25750 主从 I2C 端口的更多说明。更新了 TPS25750 原理图.....	5
• 阐明了电池电压范围，以便与 TPS54531 降压转换器配合使用。.....	7
• 阐明了 EEPROM 的刷写过程。.....	9

重要声明和免责声明

TI“按原样”提供技术和可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证没有瑕疵且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、某特定用途方面的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品，(2) 设计、验证并测试您的应用，(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他功能安全、信息安全、监管或其他要求。

这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的应用。严禁对这些资源进行其他复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。您应全额赔偿因在这些资源的使用中对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 的销售条款](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款/TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

邮寄地址：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2024，德州仪器 (TI) 公司