

Design Guide: TIDA-050047

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



说明

适用于 2-4 节电池的集成式 USB Type-C®、USB 电力输送 (PD) 和充电参考设计是一款 2 合 1、USB Type-C 和 USB 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

TPS25751、BQ25798

产品文件夹

TPS54531、TLV755P

产品文件夹

TVS2200

产品文件夹

特性

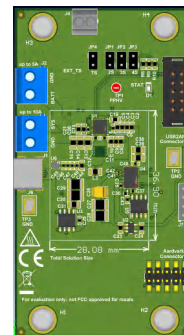
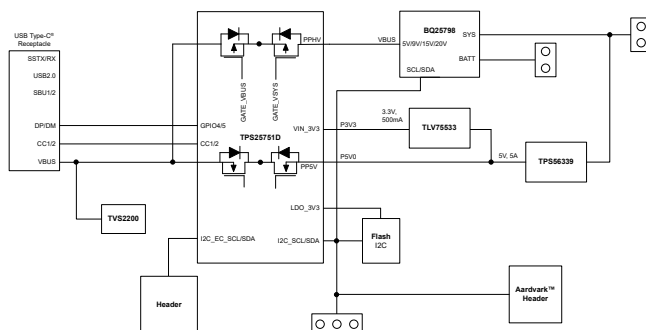
- 可配置为“供电/受电”或“纯受电”电源角色
- 通过二进制自动售货机 GUI 选择的配置选项
- 全面的电源路径管理和保护
- 支持 2-4 节串联电池的充电
- 可在降压、降压/升压和升压功能之间进行无缝转换
- 在供电模式下支持 OTG 模式

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 和 USB PD 以及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。不需要使用外部微处理器，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。USB-PD 控制器处理的一些示例包括设置充电电压和电流，以及根据有效的 USB Type-C 电源角色将电池充电器配置为 OTG 或充电模式。

1.1 主要系统规格

表 1-1. 主要系统规格

参数	规格	详细信息
受电能力	5V ~ 20V	USB Type-C 输入端 VBUS
供电功能	5V ~ 20V	BQ25798 输出
电池配置	2-4 节	电池节数
充电电流	高达 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

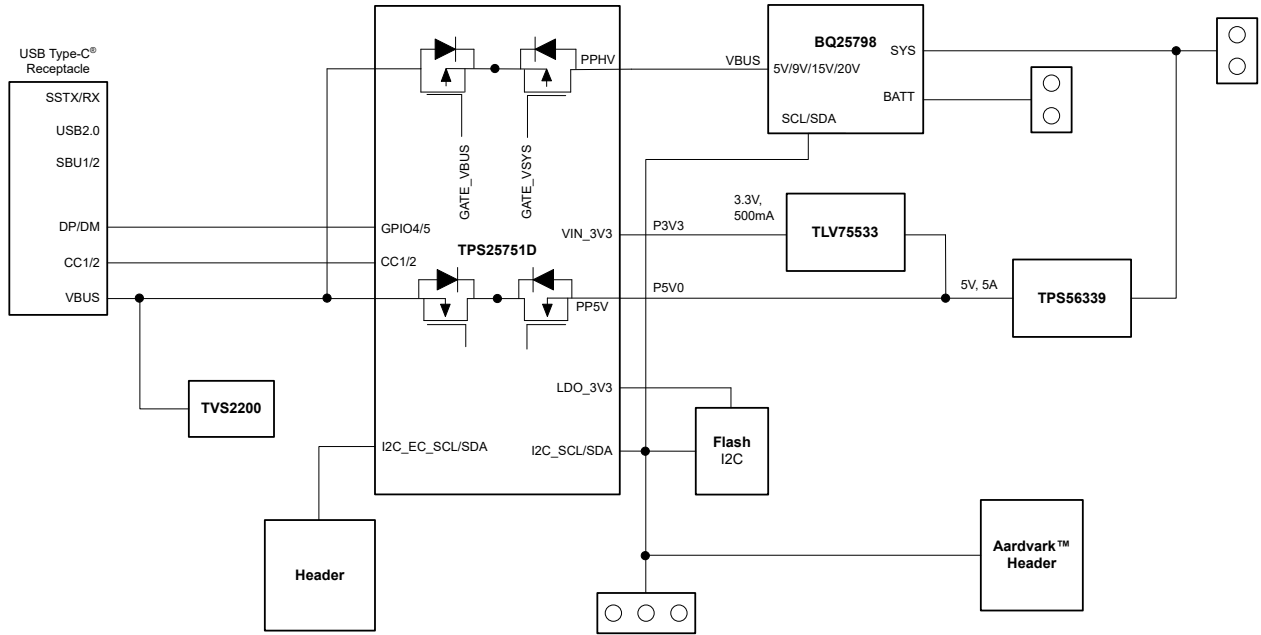


图 2-1. TIDA-050047 方框图

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 TPS25751D

TPS25751D 是一款 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，TPS25751D 会在 CC 线上使用 USB PD 协议进行通信。完成电缆检测和 USB PD 协商后，TPS25751D 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。

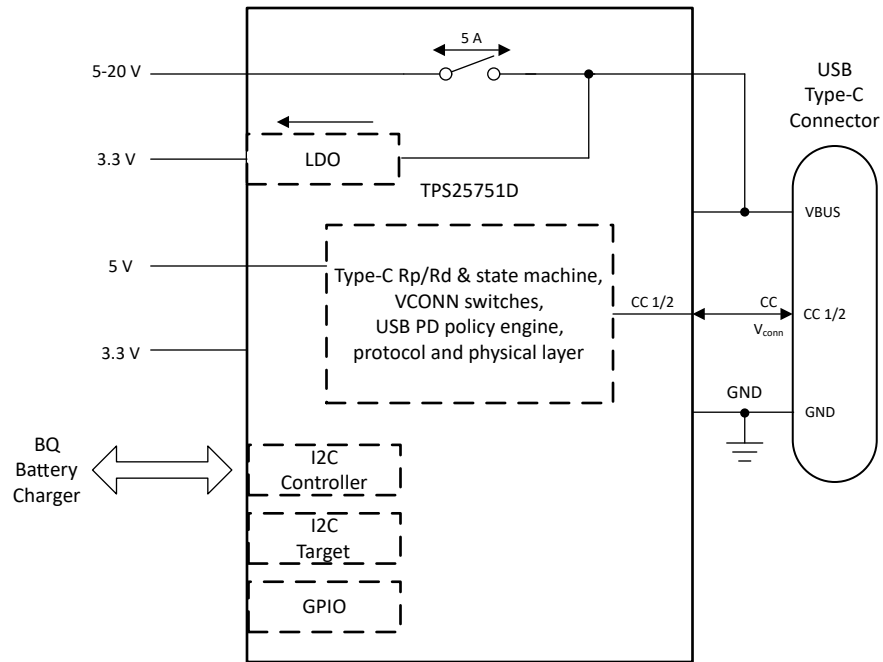


图 2-2. TPS25751D 典型应用电路

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高度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。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。

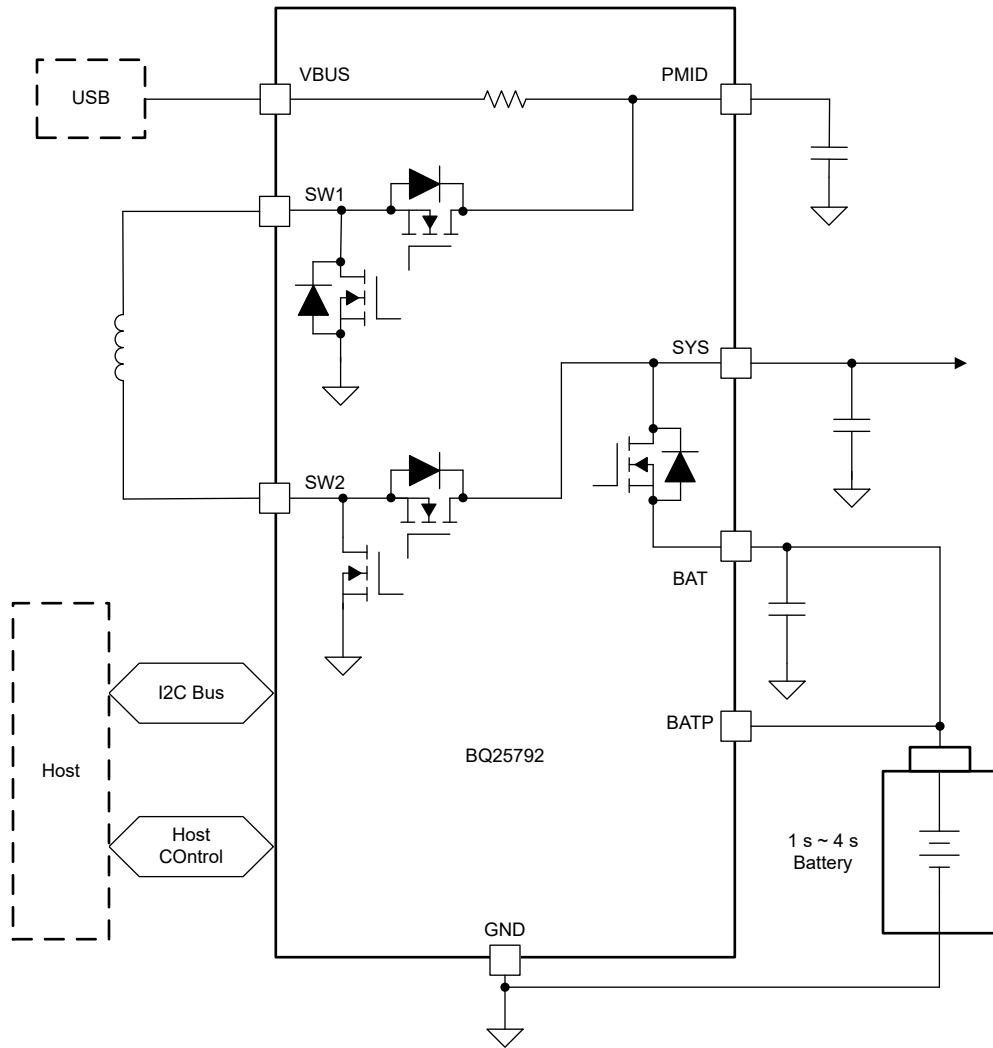


图 2-3. BQ25798 典型应用电路

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特性的实现方式。本节说明了 TPS25751D 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 TPS25751D PD 控制器

TPS25751D 具有两个 I²C 端口：一个用作直接连接到电池充电器的控制器端口。后者可对充电模式、充电电流、OTG 模式等进行适当配置。控制器端口还连接到 I²C EEPROM，该 EEPROM 包含补丁和配置捆绑包，TPS25751 会在引导时从该捆绑包中加载。控制器端口可与接头 J7 搭配使用，以与 BQ25798 进行通信。第二个 I²C 端口（目标端口）可用于直接对 TPS25751 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。

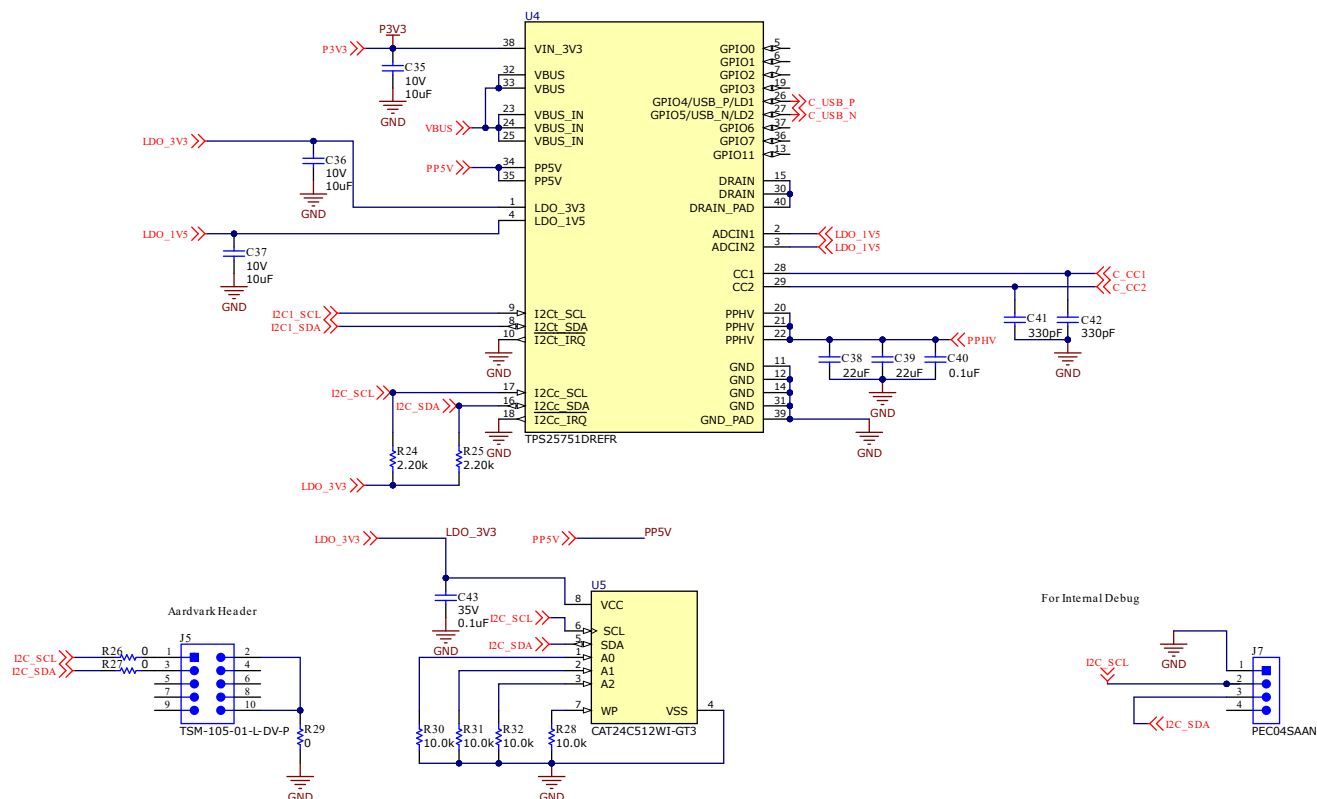


图 2-4. TPS25751D 原理图

2.4.2 BQ25798 电池充电器

BQ25798 是一款高度集成的开关模式降压/升压充电器，适用于 1-4 节锂离子电池和锂聚合物电池。该器件集成了四个开关 MOSFET (Q1、Q2、Q3 和 Q4)、输入和充电电流检测电路、电池 FET (QBAT) 以及降压/升压转换器的所有环路补偿。该电池充电器将接收来自 PD 控制器的 I²C 命令，以针对所需的应用配置相应的寄存器值。提供了一些插座用于将充电器连接到系统以及电池。

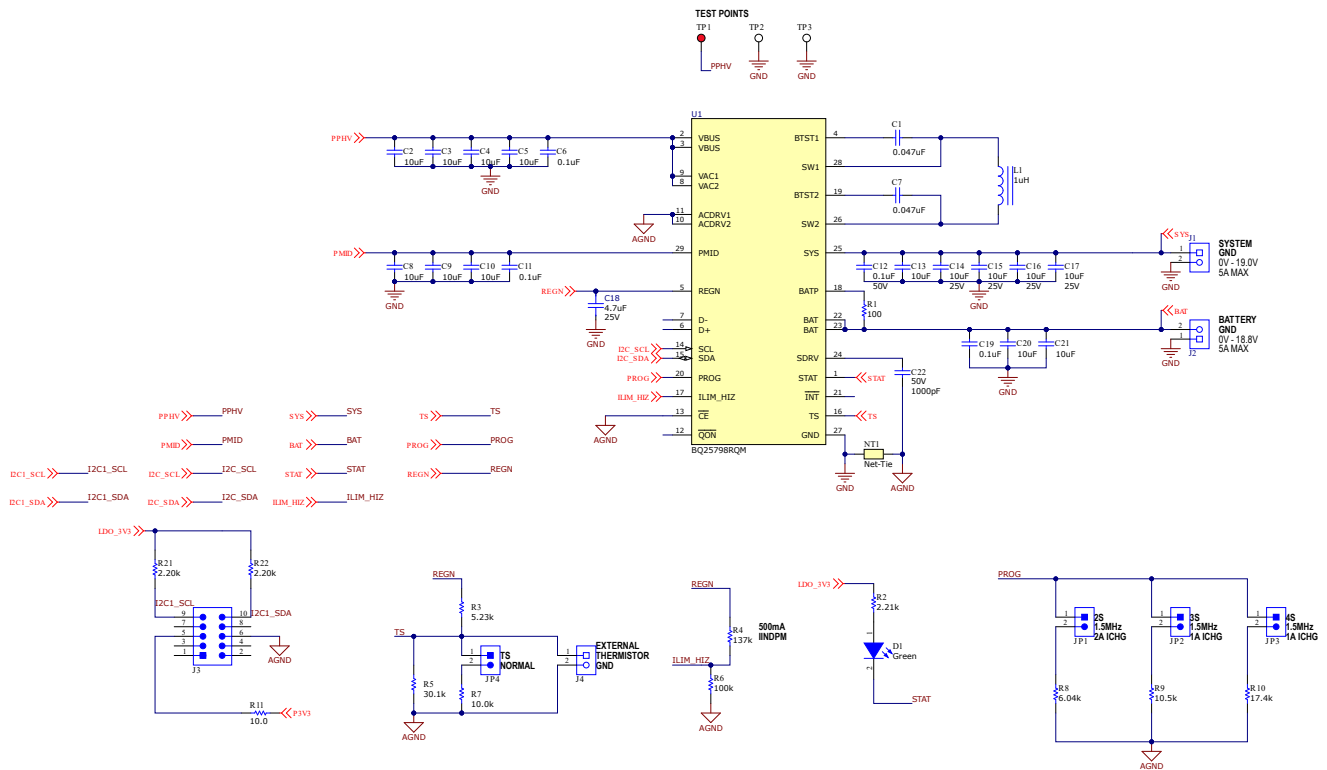


图 2-5. BQ25798 原理图

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 2S-4S 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，因此转换器可以接受 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。

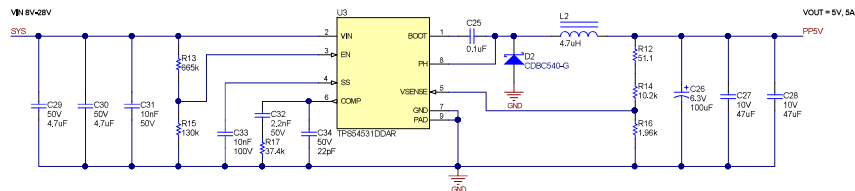


图 2-6. TPS54531 降压转换器原理图

2.4.4 TLV75533 LDO

如需在系统需要供电时为 TPS25751D 器件上电，还必须提供 VIN_3V3 输入引脚。选择了 TLV75533 以提供所需的 3.3V 电压来为 PD 控制器供电。输入连接到 TPS54531 的 5V 输出，该输出会降至 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。

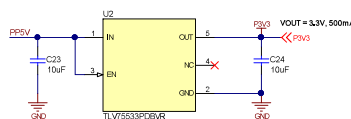


图 2-7. TLV75533 原理图

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 TPS25751D 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。

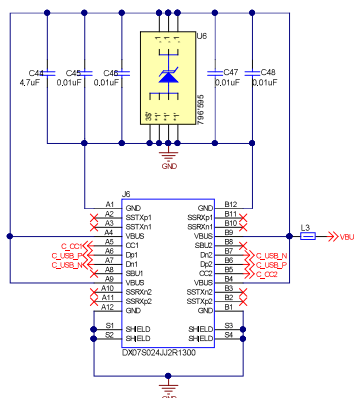
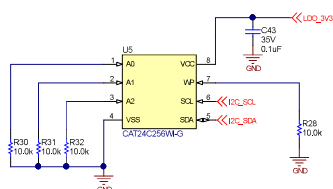


图 2-8. USB Type-C® 插座电路与 TVS2200

2.4.6 编程支持组件



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 [TPS25751 应用程序自定义工具 GUI](#) 的 Microsoft® Windows® PC
2. TIDA-050047 电路板
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
6. I2C 闪存编程工具（总相位® Aardvark™ 或类似器件）

3.2 应用程序自定义工具

本节将指导用户完成 GUI 配置以及生成对 [TIDA-050047](#) 重新编程所需的 EEPROM 二进制文件。参考设计 EEPROM 经过编程，具有类似的图像。

1. 首先，打开 TPS25751 Application Customization Tool。

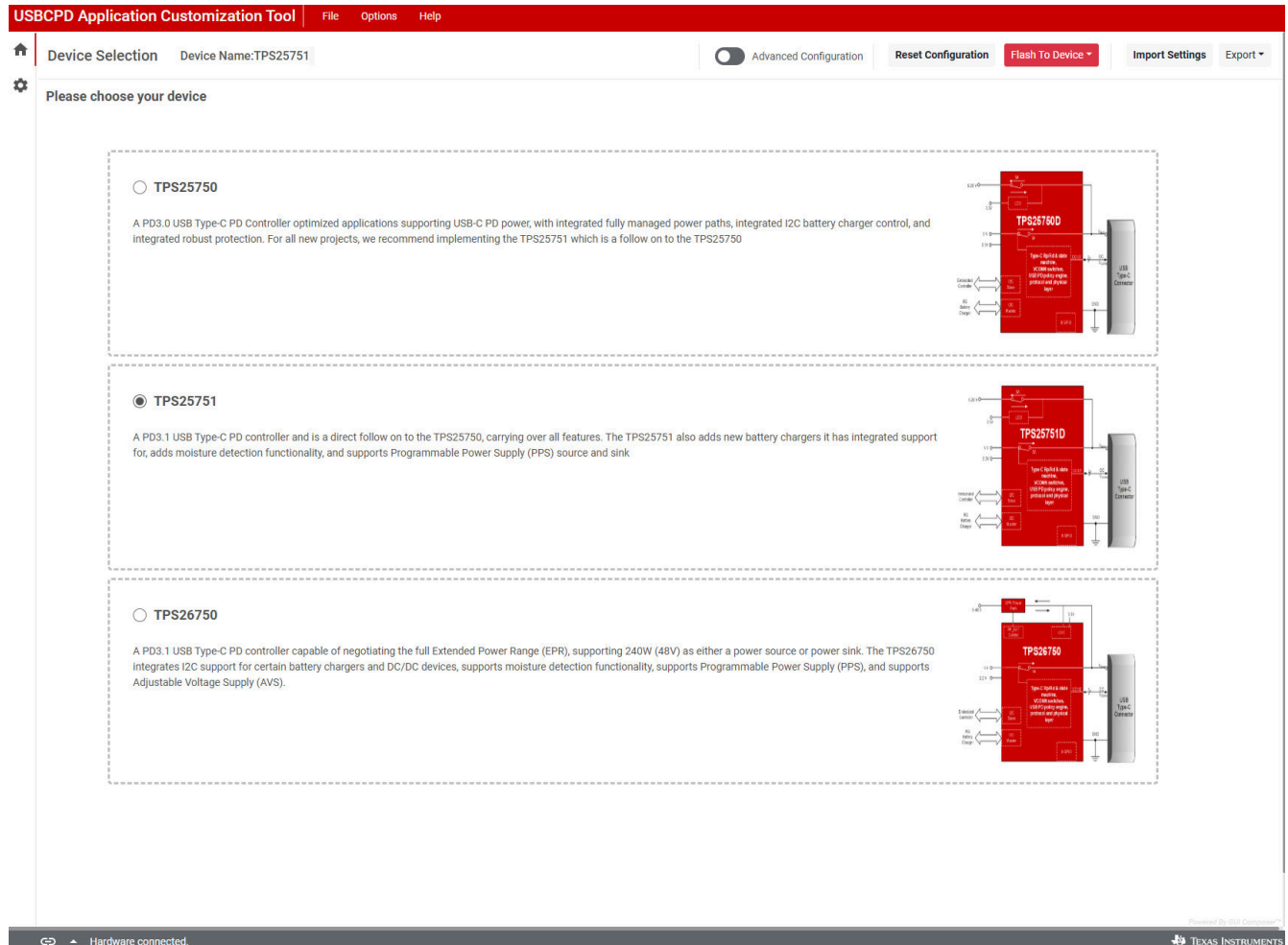


图 3-1. 器件选择

2. 选择 TPS25751 作为器件。
3. 接下来，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 3-2 所示。

1) Select your TPS25751 configuration: ②

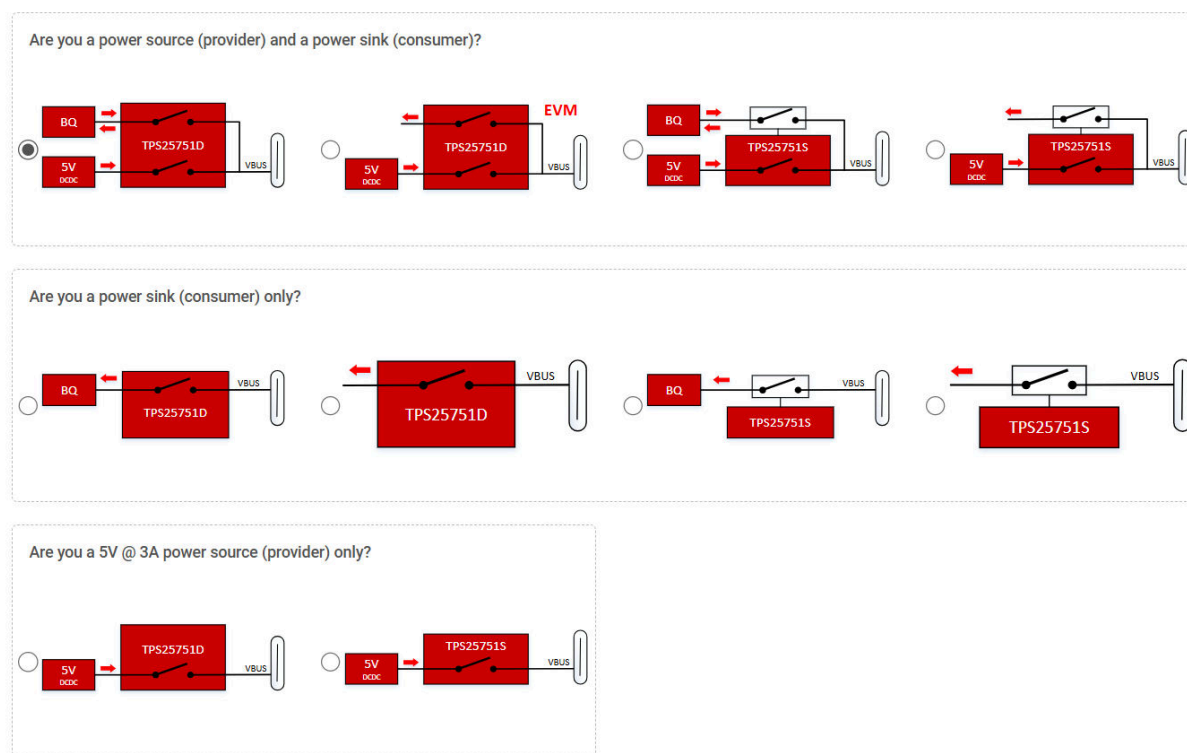


图 3-2. TPS25751 应用选择

4. 问题 2 到 7 设置本参考设计所需的电源和数据配置。TIDA-050047 支持高达 45W (15V、3A 或 20V、2.25A) 的供电功率和高达 66W 的受电功率。根据偏好选择测试设置。对于本参考设计，可遵循 图 3-3 中显示的设置。

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)

7) Does your device plan to support BC 1.2 and other legacy charging schemes? ⓘ

- ☒ No
- ☐ BC 1.2 CDP
- ☐ BC 1.2 DCP Only
- ☐ BC 1.2 DCP, 1.2 V and 2.7 V Charging

图 3-3. 支持的电源问题

5. 问题 8 启用 TPS25751 的液体检测功能。TIDA-050047 不支持用于液体检测的硬件，请将此问题设置为否。

8) Do you support Liquid Detection on the Type-C connector? ?

☐ Yes

☒ No

图 3-4. 液体检测

6. 问题 9 和 10 与供应商 ID 和产品 ID 有关，无需填写。如果需要，可以在此处输入专用 ID。对于此工程，这两个问题均可选择第二个选项。

9) Do you have a Vendor ID provided by the USB-IF? ?

☐ Yes, enter here as a 4-digit hexadecimal number:

0x 0000

☒ No, use the TI Vendor ID in the Vendor Information File (VIF)

10) Do you have a desired Product ID? ?

☐ Yes, enter here as a 4-digit hexadecimal number:

0x 0000

☒ No, use "0x0000" as the Product ID

图 3-5. 供应商或产品 ID 信息

7. 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。

Battery Charger Configuration

11) Select the battery charger component to integrate: ⓘ

- ☒ BQ25790 or BQ25792 or BQ25798
☐ BQ25713
☐ BQ25731
☐ BQ25756
☐ BQ25756E

12) Select the percentage above the negotiated PD Contract current for setting the INDPM on the battery charger. ⓘ

- ☒ 0% - INDPM is set to the negotiated PD Contract Current
☐ 5% - INDPM is set to 5% above negotiated PD Contract Current
☐ 10% - INDPM is set to 10% above negotiated PD Contract Current
☐ 15% - INDPM is set to 15% above negotiated PD Contract Current
☐ 20% - INDPM is set to 20% above negotiated PD Contract Current

13) Select the percentage below the negotiated PD Contract voltage for setting the VINDPM on the battery charger. ⓘ

- ☒ 5% - VINDPM is set to 5% below negotiated PD Contract Voltage
☐ 10% - VINDPM is set to 10% below negotiated PD Contract Voltage
☐ 15% - VINDPM is set to 15% below negotiated PD Contract Voltage
☐ 20% - VINDPM is set to 20% below negotiated PD Contract Voltage

14) What is the battery charging voltage? ⓘ

12.000 V

15) What is the battery charging current? ⓘ

3.000 A

16) What is the charge termination current? ⓘ

0.400 A

17) What is the pre-charge current? ⓘ

0.400 A

18) What is the dead battery clear threshold? ⓘ

0.000 V

图 3-6. 电池充电器问题

问题 12 至 18 可以根据所需用例填写。例如，可以将响应设置为以下值：

- INDPM 百分比可以设置为 0%
- VINDPM 百分比可以设置为 5%
- 电池充电电压：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

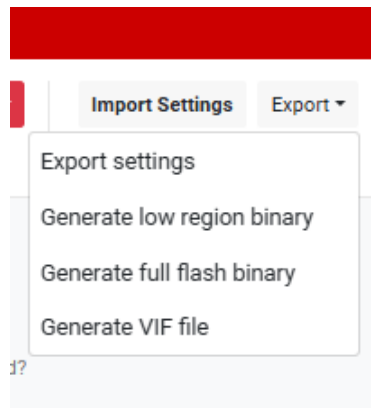


图 3-7. 导出所选设置

回答完所有问题后，便可生成 EEPROM 二进制文件，并对其进行编程。使用 导出 -> 生成全闪存二进制文件 选项。接下来，使用您选择的 I2C 闪存编程工具通过其中一个外露的 I2C 接头 (J5、J7) 将二进制文件刷写到 TPS25751 EEPROM (U5)。

3.3 测试设置

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

双向电源可以连接到 BATT 插座 (J2) 以模拟电池。根据 JP1-JP3 的电池配置跳线设置，相应地设置电源上的电压。1A 足以满足测试要求，但可以根据需要进行修改。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 以及必要的 5V 和 3.3V 降压转换器和连接到 TPS25751D 的 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。

BATT 引脚上的电源仅用于死机电池模拟等“纯受电”测试模式。连接设置保持不变。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，TPS25751D 将使用 VBUS 进行上电，并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

加电时，TPS25751D 会通过 I2C 配置 BQ25798，配置充电电流、预充电电流、终止电流、充电电压和控制设置。这些初始写入基于在基于网络的 Application Customization Tool 中提供的答案。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。

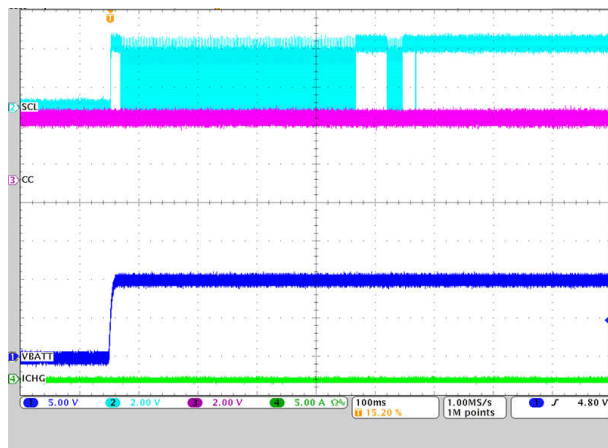


图 3-8. 上电复位 (POR) 命令

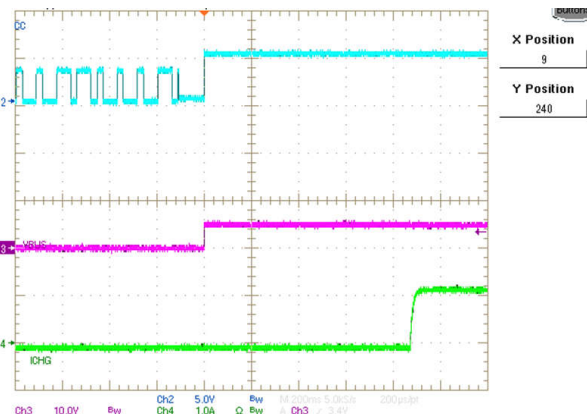


图 3-9. 为电池充电的 5V 受电合约示例

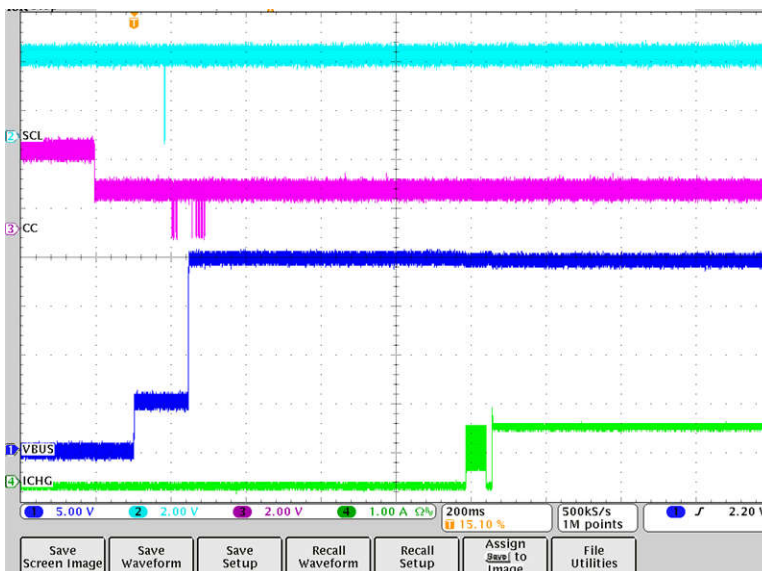


图 3-10. 20V/1A 受电充电

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。

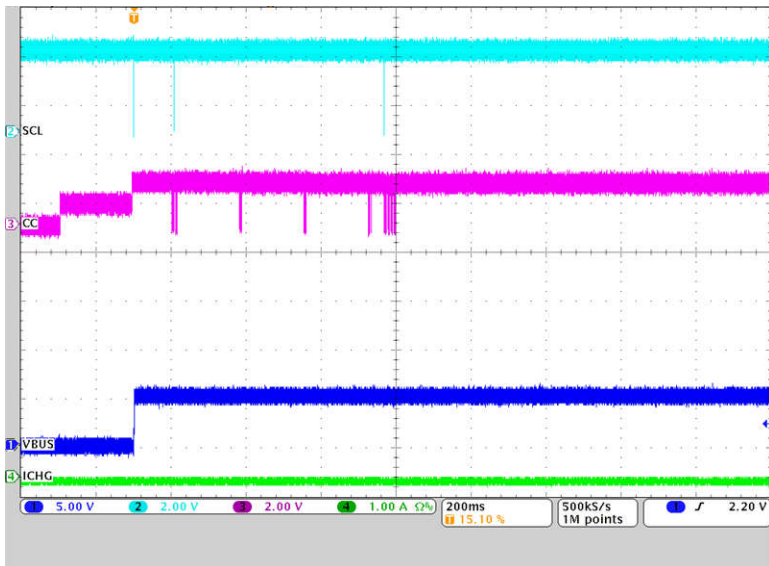


图 3-11. 在 OTG 模式下使用 BQ25798 提供 5V 电源

当 TPS25751D 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。

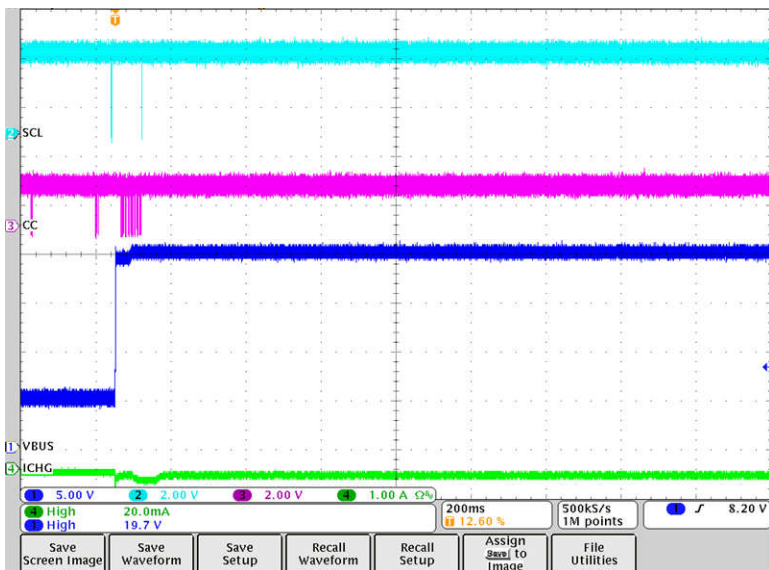


图 3-12. 在 OTG 模式下使用 BQ25798 提供 20V 电源

当伙伴端口和 TPS25751D 协商使用 TPS25751D 作为供电器件的 20V 合约时，可以观察到相同的行为。

USB Type-C PD 的一项功能是能够执行电源角色交换。图 3-13 显示从供电到受电的电源角色交换。

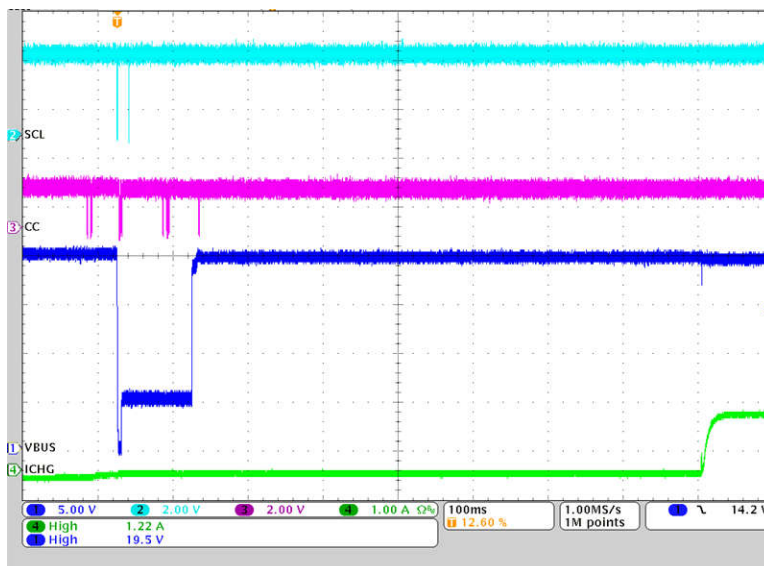


图 3-13. 从 20V 供电到 20V 受电的电源角色交换

TIDA-050047 最初在 VBUS 上提供 20V 电压。启动电源角色交换，当端口停止供电时，VBUS 转换为 0V。远端 USB-C 端口成为新的电源，并协商 20V PD 协议，TIDA-050047 现在充当电源接收器。成功完成电源角色交换后，TPS25751D 会将 BQ25798 配置为充电模式。

同样，图 3-14 显示可以发生从受电到供电的电源角色交换。

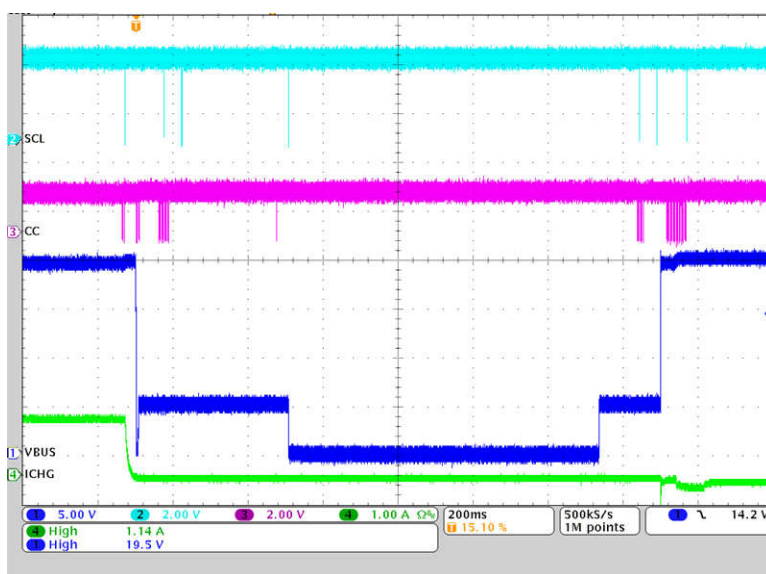


图 3-14. 从 20V 受电到 20V 供电的电源角色交换

4 设计和文档支持

4.1 设计文件

4.1.1 原理图

要下载原理图，请参阅 [TIDA-050047](#) 中的设计文件。

4.1.2 BOM

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

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 TPS25751D，请参阅 [TIDA-050047](#) 的设计文件。

4.3 文档支持

1. 德州仪器 (TI)，[TPS25751](#) 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
2. 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
3. 德州仪器 (TI)，适用于 [TPS25751](#) 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.

总相位® is a registered trademark of Total Phase, Inc.

所有商标均为其各自所有者的财产。

5 作者简介

HARI PATEL Hari Patel 是德州仪器 (TI) 的一名应用工程师，负责提供 USB Type-C® 和 USB 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 B (November 2020) to Revision C (June 2025)	Page
• 更新了文档标题以匹配 AP 风格.....	1
• 将 TPS25750 更新为 TPS25751，包括文字、图片和图表的更新。更新了 GUI 部分以反映新的 TPS25751 GUI。删除了所有涉及 USB2ANY 的内容，因为 TIDUEY1 通过连接器不支持 USB2ANY。在 TPS25751D PD 控制器 部分中将 I2C “主”和“从”更新为“控制器”和“目标”。.....	1
• 已删除 PMID 电容器上的“0” μ F 标记。删除了有关 D+/D- 的注释，因为 D+/D- 未用于此设计，并且由 TPS25751 处理。.....	4
• 更新了措辞并将 BQ25798 原理图更新为 BQ25798 (之前为 792)	6
• 更新了 EEPROM 的刷写过程。由于 TI 不支持非 EVM Tiva 使用，因此删除了涉及 Tiva 的内容。更新了 GUI 图像以反映最新版本的 GUI。.....	9

重要通知和免责声明

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 产品的相关应用。严禁以其他方式对这些资源进行复制或展示。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
版权所有 © 2025，德州仪器 (TI) 公司