

Application Note

用于断电告警应用的超级电容器备用电源



Shubham Nayak, Shashank Meti

摘要

TPS61381 是一款具有基于 LDO 的充电器的双向升压转换器，可在电池无电或输入电源出现故障期间用作备用电源。该器件可用于提供系统的平稳过渡，在突发电源故障时由备用电源供电。该系统机制在充电器运行期间充当充电器，并在电源故障期间调节输出电压。

本应用手册针对在系统输入电源发生故障时生成警告消息（断电告警）；这在服务器、路由器、接入点、CPE 或其他采用断电告警实施的系统中尤为重要，以帮助进行系统调试。

通过发送最终信号，接入点可以帮助最大程度地减少断电对网络的影响，支持正常故障转移，并提供有助于保持网络可靠性和正常运行时间的重要诊断信息。此功能在高可用性至关重要的环境中特别有用。

TPS61381 通过从超级电容器备用 VBUB 接收电源，支持在电池电量耗尽的情况下生成消息。

内容

1 简介.....	2
2 系统概述.....	3
2.1 设计注意事项.....	4
2.2 系统设计原理.....	5
3 测试结果.....	9
3.1 待机运行.....	9
3.2 充电操作.....	10
3.3 升压运行.....	11
4 总结.....	12
5 参考资料.....	12

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 简介

断电告警或**应急信号**是指在器件断电或关闭之前，由系统或器件发送的最终、短暂的信号或消息。这通常用于网络设备（如路由器、服务器或其他硬件）的环境中，用于发送警报或通知，表明设备即将因断电或故障而停止运行。这可能涉及错误消息、状态更新，甚至是顺利关闭过程。在某些情况下，**断电告警**会作为紧急信号发送，帮助管理员或监控系统在完全中断服务之前检测和响应即将发生的中断。

在接入点环境中，允许无线设备（如笔记本电脑、智能手机或平板电脑）使用 **Wi-Fi** 或其他无线通信标准连接到有线网络，充当有线网络（如路由器或交换机）与无线客户端之间的网桥，为无线设备提供网络连接。断电告警有助于实现电池运行状况监测、提供平稳关断，并确保在故障转移时发生断电保护，从而提高系统的可靠性。

接入点的**断电告警**是网络管理员和 IT 系统检测、诊断和响应断电或设备故障问题的关键工具。此功能在高可用性至关重要的环境（如商务办公室、学校和数据中心）中特别有用。

该应用使用 **TPS61381-Q1** 作为具有 **LDO** 充电功能的升压转换器，可用于在正常电源运行期间通过充电来维持备用电池或超级电容器，然后在故障转移情况下用于发出最终消息，甚至用作备用电源，可以根据所需应用的要求进行定制。

2 系统概述

TPS61381-Q1 是双向升压转换器，具有 CC/CV 和电池运行状况检测功能。该器件为备用电源系统提供集成电源设计。TPS61381-Q1 可承受 40V 负载突降，支持直接与 12V 电源连接。拟议的备用电源架构的优点包括：

- 通过消除单独的超级电容器充电电路来降低系统成本。
- 根据应用和所需的备用持续时间，超级电容器可以充电至所需的电压电平
- 在停电的情况下，充电模式和放电模式之间的无缝转换可确保快速无中断地切换到备用电源。
- 充电电流的可编程限制作为一项可选功能提供，还有更改电芯数量和备用电池类型的功能。

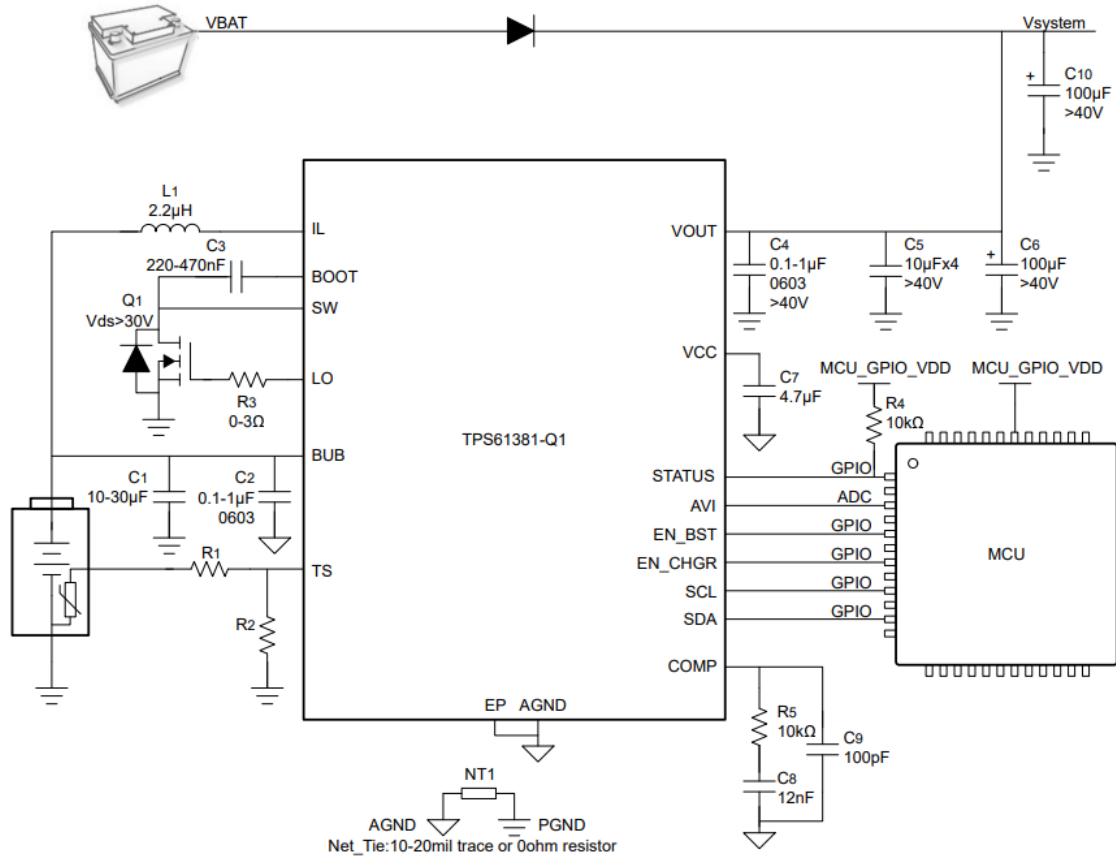


图 2-1. TPS61381-Q1 功能框图

TPS61381-Q1 集成了具有可配置恒流和恒压 (CC/CV) 以及用于为电池充电的可编程计时器，可支持一至五节镍氢电池、一至两节锂离子电池、锂聚合物电池和磷酸铁锂电池，以及一至四节超级电容器。图 2-1 展示了相应的功能方框图。

该器件具有电池温度监测器特性，通过 I2C 接口控制备用电池放电电流，并为 MCU 控制输出模拟信号，用于诊断电池运行状况。采用具有可湿性侧面的 3mm × 4mm QFN 封装的器件具有该特性。

2.1 设计注意事项

此设计旨在以最高效率提取存储在超级电容器中的能量，以提供生成断电告警消息所需的能量，并将这种断电消息发送给系统管理器。

TPS61381 根据备用电池电压 (VBUB) 支持最大 I_{out} ，方法是通过升压转换器操作从超级电容器汲取所需的能量。从主电源到备用电源的转换会在断电情况下发生，同时不会中断负载。可以根据需要通过改变电容值或通过增加备用电池的数量来设计备用电源的持续时间。

在这里，系统设计为在 75ms 的时间内保持 28W 的最大功耗。此应用程序遵循以下给定的设计规格；请参阅表 2-1。

表 2-1. 参考设计规范

参数	值
电池输入电压	典型值：10.5-12V
备用电池	2S 超级电容器
备用电池电压	5.2-5.4V
充电电流	200mA
充电器模式	LDO
升压输出电压	12V
升压输出电流	2-2.33A
模式选择	自动充电器和升压
模式切换期间的压降	< 0.5V
备用持续时间	75ms
需要备用电源	28W

2.2 系统设计原理

图 2-2 是简化的方框图，其中显示了各种运行模式。系统的工作模式可分为三种模式：待机模式、充电模式和升压工作模式。当主电源可用于系统时，主电源在 $V_{in} = V_{out}$ 的情况下直接路由到输出。在充电阶段，根据电池类型，通过利用输入电源的 LDO 操作对备用电池进行充电。在这种情况下，使用超级电容器作为备用电源，由 LDO 进行充电。

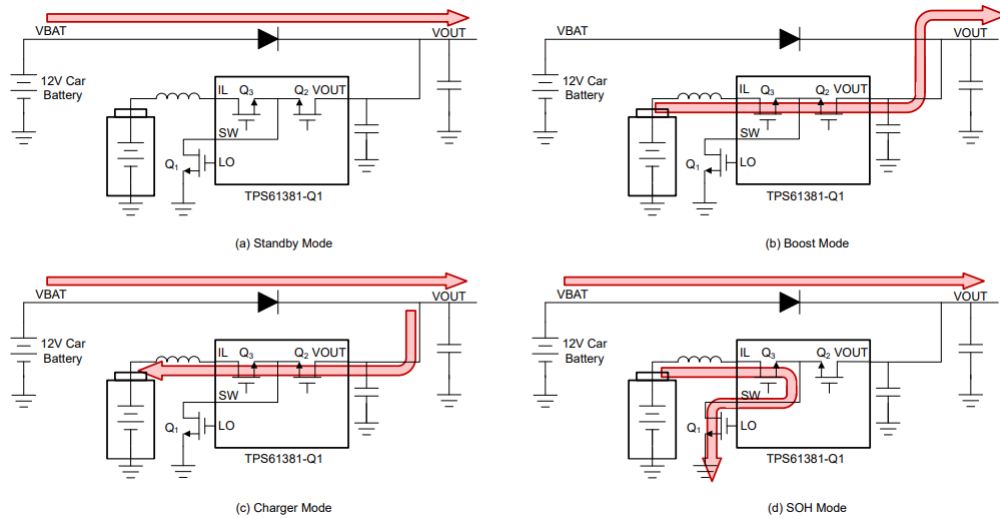


图 2-2. 系统运行的方框图

现在，当主输入电源发生故障且 V_{in} 低于某个指定的阈值时，该器件进入升压模式并从备用电池获取能量以调节输出电压。升压运行可在 400kHz 下运行。

电池类型和数量、充电拓扑、充电电流、工作频率和升压阈值可通过 I2C 接口进行配置。

2.2.1 超级电容器充电操作

首次上电时，如果超级电容器未充电，则必须在 LDO 运行期间从主电源为其充电。TPS61381 IC 可以根据应用要求，从 0V 为超级电容器充电至设定的 VBUB。

充电过程开始时，TPS61381-Q1 会使用 VOUT 引脚检测系统电压，并在检测到系统电源中断时自动转换到升压模式。在此涉及自动升压和待机模式的应用中，当 Vout 正常时，器件会以待机模式工作。当发生电源故障且 Vout 降至 $\min\{VBST_WAKEUP$ (由 I2C 位 BST_WAKE 设置)、 $VBST_STANDBY$ ($BST_VOUT \times 106\%$) 以下时，器件会进入升压模式以保持输出电压。当 12V 主电池恢复且 Vout 升高高于 VBST_STANDBY 时，器件会再次进入待机模式。

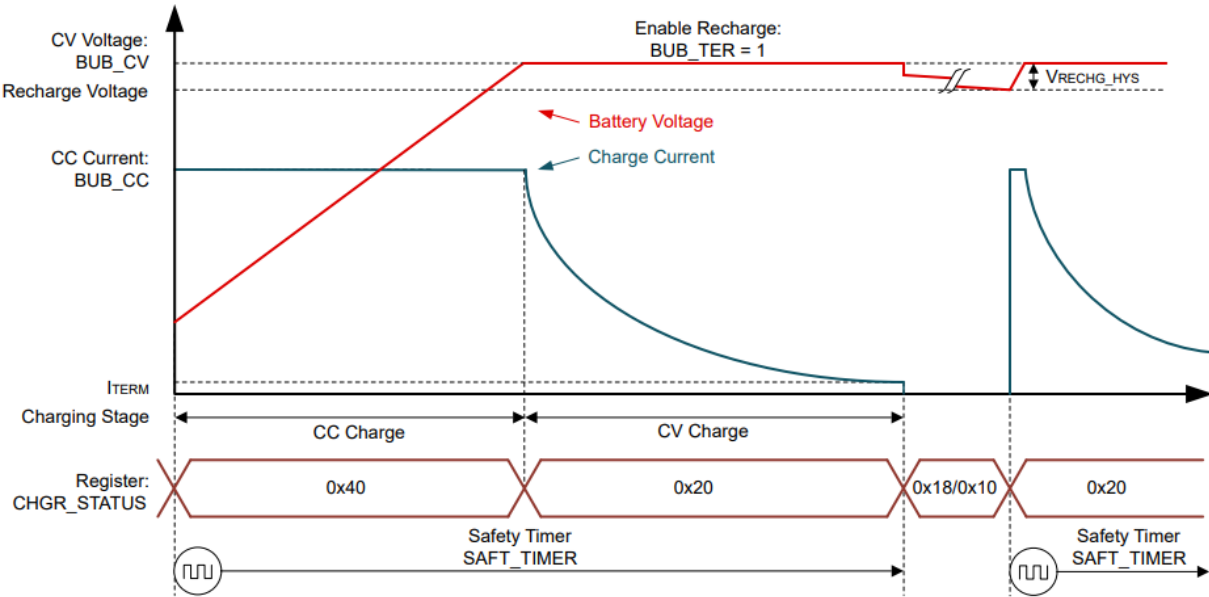


图 2-3. 超级电容器充电行为

2.2.1.1 选择备用超级电容器的计算方法

为备用操作选择超级电容器主要取决于输出负载要求、备用持续时间和相关超级电容器的内部电阻。备份和升压模式运行期间的工作原理图如图 2-4 所示。

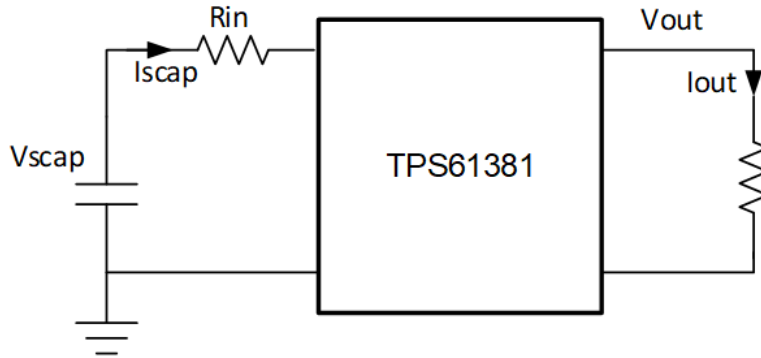


图 2-4. 升压模式期间的有效放电

根据所需的备用时间和备用功率，可采用以下公式计算出备用电容的最小所需值，其中：

$$C_{min} = (2 \times P \times T) / (\eta \times [(V_{CF})^2 - (V_{CL})^2]) \quad (1)$$

- **Cmin**：所需备用电容的最小值
- **V_{CF}**：处于比较器下限阈值时的备用电容电压
- **V_{CL}**：备用电容的最小放电电压，由 TPS61381 的最小输入电压确定
- **η**：TPS61381 的效率
- **T**：备用时间
- **P**：备用电源

但是，**V_{CL}** 会在很大程度受到超级电容器内部电阻 **R_{in}** 的影响。**V_{CL}** 必须使用方程式 2 来计算

$$V_{CL} = \min((V_{out}I_{out}) / (\eta I_{lim}) + I_{lim}R_{in}, V_{BUBUV} + (V_{out}I_{out}R_{in}) / (\eta V_{BUBUV})) \quad (2)$$

其中：

- **V_{BUBUV}** 是 TPS61381 BUB UVLO 阈值
- **I_{lim}** 是 I2C 接口设置的电流

超级电容器内部电阻通常比 IC MOSFET **R_{dson}** 大 5-10 倍。因此，效率主要取决于内部电阻的损耗。可以计算内部电阻对备用升压运行的影响。有关详细计算，请参阅使用 TPS61383 的汽车电子门锁系统设计指南。

2.2.1.1.1 设计计算

对于此设计，备用持续时间为 75ms，最大备用电源要求为 28W。在这里，使用具有总内部电阻的 2S 超级电容器，以在 $V_{CH} = 5.4V$ 时接近 $45m\Omega$ 。因此，按如下公式计算所需的最小电容：

$$1. \quad V_{CL} = \min((V_{out}I_{out})/(\eta I_{lim}) + I_{lim}R_{in}), \quad V_{BUBUV} + (V_{out}I_{out}R_{in})/(\eta V_{BUBUCV}) \quad (3)$$

$$V_{CL} = 28W / ((0.95 \times 15A) + (15A \times 45m\Omega)) \quad (4)$$

$$= 2.64V$$

2. 计算 V_{CL} ：

3. 计算参数 b 和 k ：

$$b = (4V_{out}I_{out}R_{in})/\eta = 5.305W \cdot \Omega \quad (5)$$

$$k = [V_{CH}^2 - V_{CL}^2 + V_{CL}\sqrt{(V_{CH}^2 - b)} - V_{CH}\sqrt{(V_{CH}^2 - b)} + b(\ln(V_{CH} + \sqrt{(V_{CH}^2 - b)}) - \ln(V_{CL} + \sqrt{(V_{CL}^2 - b)}))]/4$$

$$= 7.445V^2$$

4. 计算 C_{min} ：

$$C_{min} = (2V_{out}I_{out}T)/(\eta(V_{CH}^2 - V_{CL}^2) - 2k) = 0.68F \quad (6)$$

5. 验证结果：

根据前面的计算结果，选择 0.68F 超级电容器时。因此，可放电的最大能量为：

$$E_{scap} = [C_{scap}V_{CH}^2 - C_{scap}V_{CL}^2] / 2 = 7.544J \quad (7)$$

负载的能耗为：

$$E_{load} = V_{out}I_{out}T = 2.1J \quad (8)$$

TPS61381 上的损耗为：

$$loss_{BST} = E_{load}((1/\eta) - 1) = 110.52mJ \quad (9)$$

总能耗为：

$$E_{total} = E_{load} + loss_{BST} + loss_{Rin} = 7.273J \quad (10)$$

能量裕度为：

$$E_{margin} = E_{scap} - E_{total} = 271mJ \quad (11)$$

在这里，选择一个电容为 5F、 V_{CH} 为 5.4V 且内部电阻为 $45m\Omega$ 的超级电容器。在选择超级电容器时，必须确保所选超级电容器的内部电阻尽可能低，以更大限度地减少任何功率损耗，从而更大限度地增加传输到输出端的能量。

3 测试结果

3.1 待机运行

系统在启动过程中的工作情况在图 3-1 中表示。主电源直接连接到系统，两者具有相同的电压电平。可以在示波器捕获中看到启动曲线。

同样，在系统中不存在备用电池的情况下，输出电平会下降。当电源或蓄电池端子出现电源故障时，输出电压下降到相同水平。

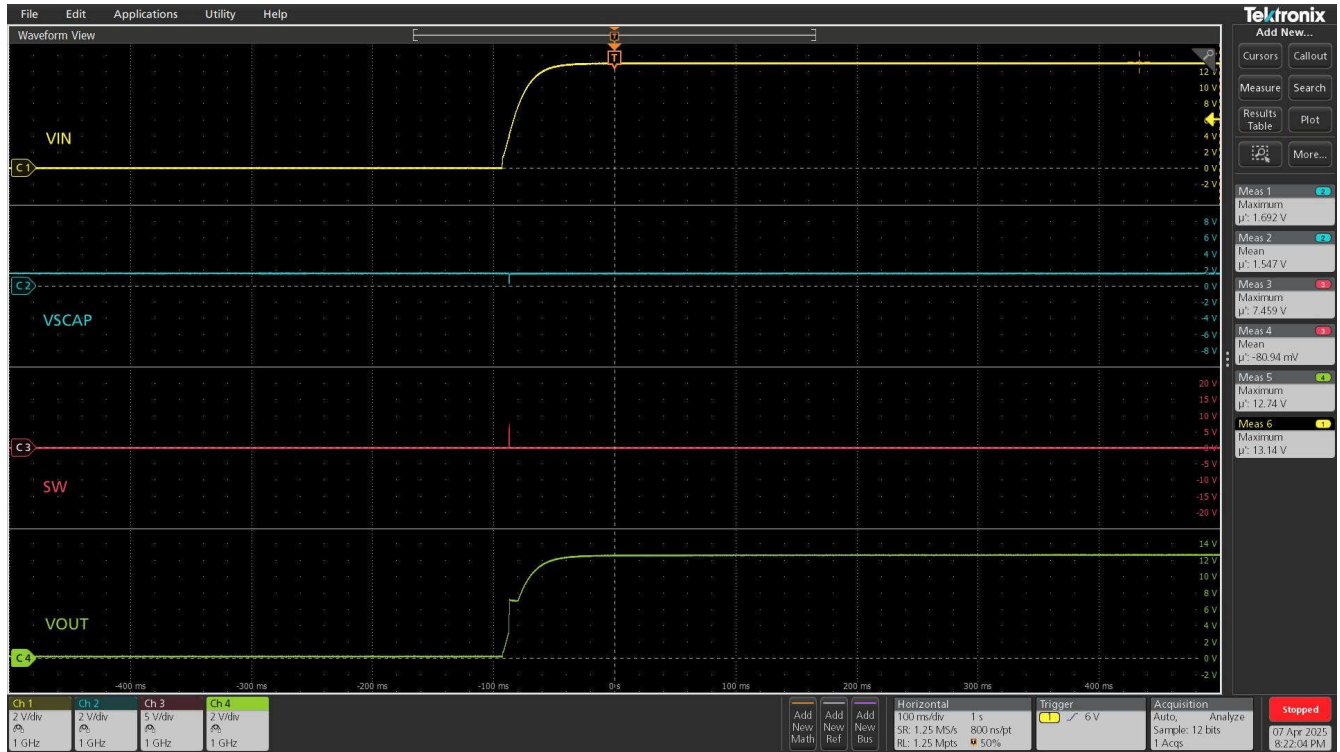


图 3-1. 器件启动

3.2 充电操作

超级电热器充电操作如图 3-2 所示。一旦有了 12V 的主电源，电容器就开始通过内部稳压器进行充电。在 2.7V 的编程电压电平下，转换器电压变为低电平，转换器停止为超级电容器充电。

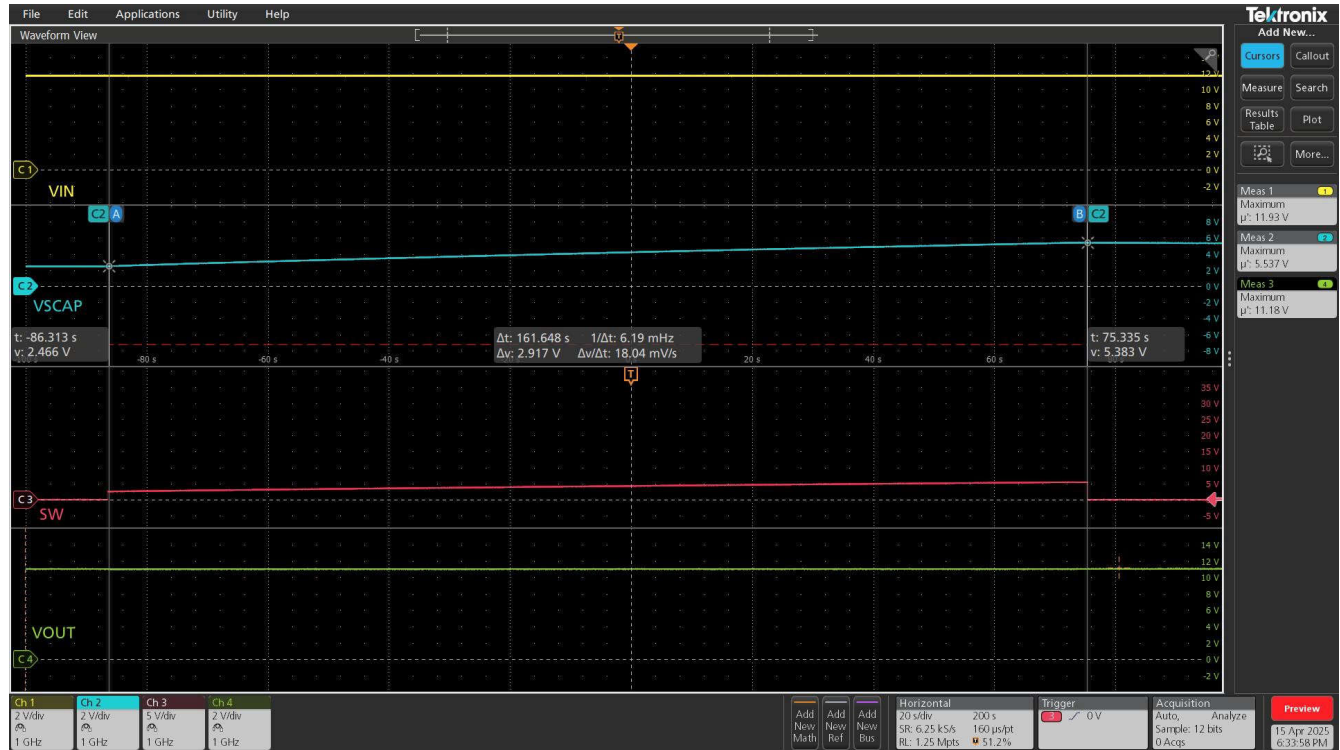


图 3-2. 在 Vin 为 12V 的情况下充电

3.3 升压运行

图 3-3 所示为所用系统的备用运行。如果主电源出现故障，TPS61381 转换器会立即开始将系统电压调节到事先编程的输出电压。超级电容器将放电，而电压会缓慢下降。当备用电容器电压达到 IC 电流限制或 TPS61381 的最小电压 (大约 1V) 时，转换器停止工作，系统电压降至零。

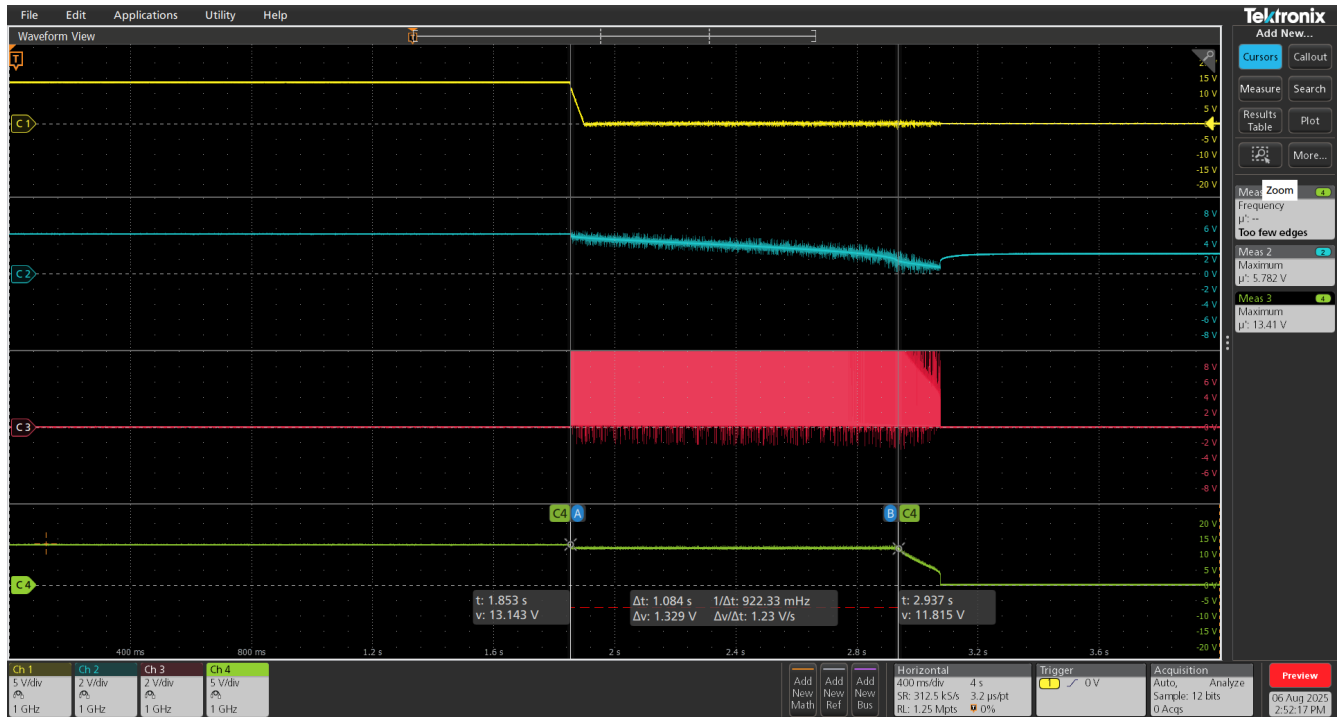


图 3-3. $V_{bub}=5.4V$ 、 $V_{out}=12V$ 的备用运行

在此示波器图中，备用时间约为 200ms。根据第 2.3.2 节中所述的公式，较大的备用电容值会导致较长的备用时间。

4 总结

通过为备用电池充电，TPS61381-Q1 可用作备用电源。它支持各种电池类型，包括锂离子、镍氢、磷酸铁锂和超级电容器、充电电流以及输出电压。在用作备用电源期间，存储在电池中的能量将被使用并调节到所需的输出电平，这可用于发出告警消息，即使在主电源断电后也是如此。

5 参考资料

- 德州仪器 (TI), [TPS61381-Q1 汽车级 400kHz、40V、15A 升压转换器，带 LDO 充电器和电池健康状态检测功能数据表](#)。
- 德州仪器 (TI), [TPS61381-Q1EVM-126 评估模块用户指南](#) EVM 用户指南。

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、与某特定用途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安全、安保法规或其他要求。

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。对于因您对这些资源的使用而对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，您将全额赔偿，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 销售条款](#)、[TI 通用质量指南](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款或 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。除非德州仪器 (TI) 明确将某产品指定为定制产品或客户特定产品，否则其产品均为按确定价格收入目录的标准通用器件。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

版权所有 © 2026，德州仪器 (TI) 公司

最后更新日期：2025 年 10 月