

Jeff Falin

## 摘要

本应用手册提供了使用专用超级电容器充电器或经简单修改的锂离子电池充电器为超级电容器充电的设计。

## 内容

|   |   |
|---|---|
| 1 引言.....                                   | 2 |
| 2 超级电容器充电关键问题和实施.....                       | 2 |
| 2.1 超级电容器充电曲线.....                          | 2 |
| 2.2 基于线性的超级电容器充电器.....                      | 2 |
| 2.3 基于开关模式降压转换器的超级电容器充电器.....               | 3 |
| 2.4 修改锂离子充电器以为超级电容器充电.....                  | 4 |
| 2.5 使用锂离子降压/升压集成 FET 充电器为超级电容器或锂离子电池充电..... | 5 |
| 2.6 使用具有外部 FET 的降压/升压控制器为超级电容器充电.....       | 6 |
| 3 总结.....                                   | 8 |
| 4 参考文献.....                                 | 9 |

## 插图清单

|   |   |
|---|---|
| 图 2-1. 超级电容器充电曲线.....   | 2 |
| 图 2-2. BQ25173 超级电容器充电器方框图.....                                 | 3 |
| 图 2-3. BQ25173 在充电电流为 800mA 时将 10F 超级电容器充电至 5.5V 的充电周期.....     | 3 |
| 图 2-4. BQ24640 超级电容器充电器方框图.....                                 | 4 |
| 图 2-5. BQ24640 在 ICHG = 4A 时为 10F 超级电容器充电的充电周期.....             | 4 |
| 图 2-6. 锂离子充电曲线.....   | 5 |
| 图 2-7. BQ25798 Plus TPS25221 超级电容器和锂离子充电参考设计方框图.....            | 6 |
| 图 2-8. BQ25798 Plus TPS25221 在 ICHG=2A 时为 10F 超级电容器充电的充电周期..... | 6 |
| 图 2-9. BQ25713 充电器方框图.....                                      | 7 |
| 图 2-10. BQ25713 在 ICHG = 3A 时为 5F 超级电容器充电的充电周期.....             | 7 |

## 表格清单

|                        |   |
|------------------------|---|
| 表 3-1. 超级电容充电设计选项..... | 8 |
|------------------------|---|

## 商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

## 1 引言

大多数超级电容器可放电至 0V，并使用制造商建议的充电电流重新充电至其最大电压。一个具有恒定电流的简单电压调节 LED 驱动器，通常通过感应低侧串联电流检测电阻器进行调节，然后可使用电压钳位为超级电容器充电。但是，使用可提供输出电压和电流调节以及输入功率调节、温度感应、热调节和其他安全功能的专用充电 IC 可实现更精确、更安全的充电。此外，没有串联检测电阻会产生不良的压降，尤其是在放电期间。本应用手册提供了使用专用超级电容器充电器或经简单修改的锂离子电池充电器为超级电容器充电的设计。

## 2 超级电容器充电关键问题和实施

### 2.1 超级电容器充电曲线

图 2-1 中显示了典型的超级电容器充电曲线。

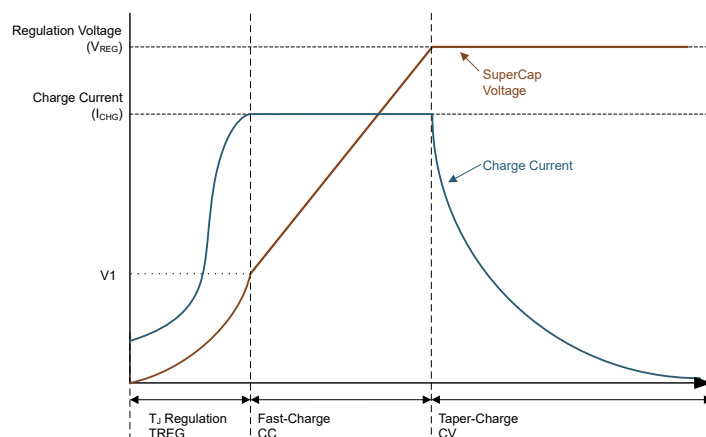


图 2-1. 超级电容器充电曲线

使用完全放电的超级电容器，充电电路最初会将电流直接发送到接地端。由于转换器内核温度达到热调节，充电电路以大幅降低但缓慢增加的电流运行。或者，充电电路可能会由于内核温度故障而在改变占空比时打开和关闭。最终，超级电容器电压以及充电电路的工作效率会增加，因此电容器将以所需的恒定（快速或最大）充电电流  $I_{CHG}$  充电，直到达到并保持在恒定电压 (CV) 调节电压  $V_{REG}$ 。通过 CV 调节，可以全面利用超级电容器的容量。

通过重新排列  $i = C \times dv/dt$  来得到  $dt = C \times (V_{REG}-V1)/I_{CHG}$ ，可以估算 CC 模式下的充电时间。如果初始降低的充电电流未知或缓慢增加到超过高达电压  $V1$  的热调节，则充电时间可能难以预测，如上所示。

### 2.2 基于线性的超级电容器充电器

仅基于线性稳压器的降压充电器非常适合符合以下要求的应用：

- 输入电压高于  $V_{REG}$ 。
- $I_{CHG}$  很低，通常  $< 1.0A$
- 超级电容器的电容较低或充电时间不重要
- 系统负载可直接连接到超级电容器

BQ25173 是一款基于线性稳压器的超级电容器充电器。FB 引脚电阻器设置 CV 电压  $V_{REG}$ ，ISET 电阻器设置 CC 电流  $I_{CHG}$ 。

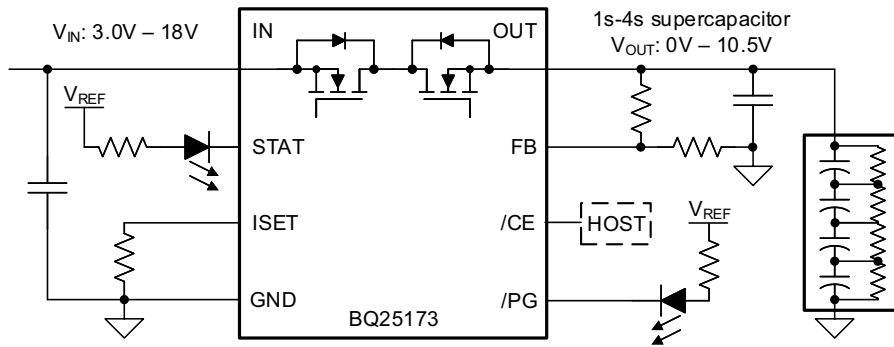


图 2-2. BQ25173 超级电容器充电器方框图

BQ25173 在  $I_{CHG}=800\text{mA}$  和  $V(IN)=5.5\text{V}$  的情况下将 10F 超级电容器充电至 5V 的完整充电周期如图 2-3 所示。

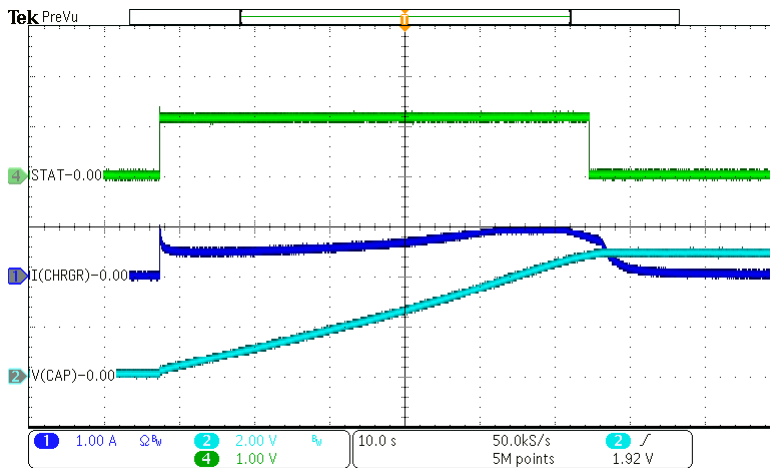


图 2-3. BQ25173 在充电电流为 800mA 时将 10F 超级电容器充电至 5.5V 的充电周期

请注意周期开始时热降低的充电电流。当超级电容器电压达到稳压电压的 98% 时，STAT 引脚变为低电平。充电器保持在 CV，以使超级电容器电压保持在 5V。

### 2.3 基于开关模式降压转换器的超级电容器充电器

在以下情况下，需要使用降压开关模式超级电容器充电器：

- 输入电压高于  $V_{REG}$ 。
- $I_{CHG}$  较高，通常  $> 1.0\text{A}$
- 超级电容器的电容很高或需要快速充电
- 系统负载可直接连接到超级电容器

BQ24640 是一款具有外部 FET 的超级电容器充电控制器，如下所示。VFB 引脚电阻器设置 CV 电压  $V_{REG}$ ，ISET 电阻器设置 CC 电流  $I_{CHG}$ 。可选的 TS 引脚可感测放置在超级电容器上的 NTC 热敏电阻的超级电容器温度，并在超级电容器温度超出设定窗口时禁用充电。

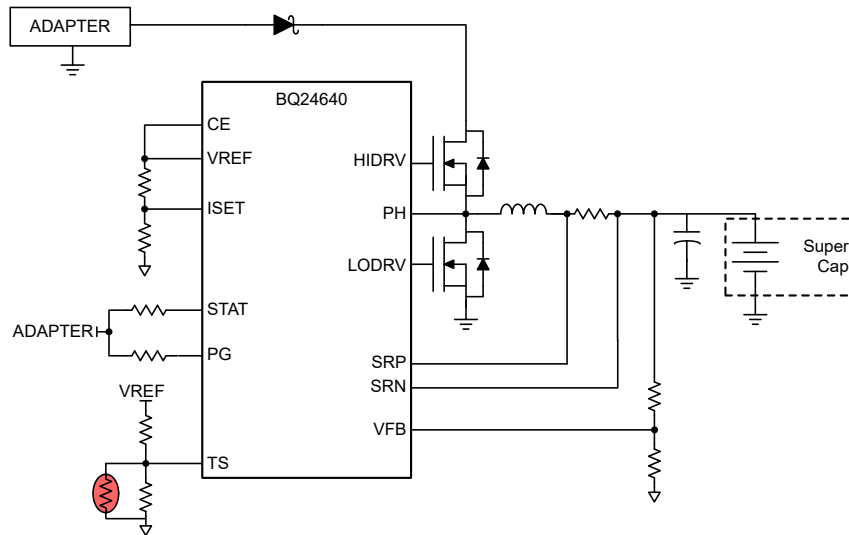


图 2-4. BQ24640 超级电容器充电器方框图

图 2-5 中显示了使用 BQ24640 在  $I_{CHG}=4A$  且  $V$  (适配器) = 24V 的情况下将 10F 超级电容器充电至 5V 的完整充电周期。

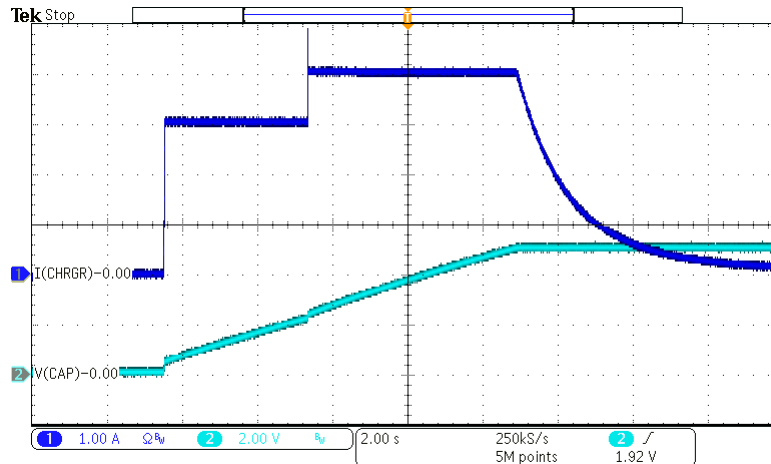


图 2-5. BQ24640 在  $I_{CHG} = 4A$  时为 10F 超级电容器充电的充电周期

请注意，为保护功率 FET，当超级电容电压低于 2.1V 时，ISET 引脚被钳位至 600mV。对于 10m 欧姆电流检测电阻 (SRP 和 SRN 引脚之间的电阻器)，即使 ISET 引脚设置更高的  $I_{CHG}$ ，此钳位也会将最大充电电流限制为 3A。BQ24640 上禁用了终止功能，因此当超级电容器充满电时，STAT 引脚 (上面未显示) 不会改变状态。转换器无限期地以 CV 模式运行，以使超级电容器保持充电至 5V 的状态。

## 2.4 修改锂离子充电器以为超级电容器充电

由于市场上锂离子充电器的选择非常广泛，因此使用锂离子充电器为超级电容器充电似乎是合理的。锂离子充电曲线如图 2-6 所示。

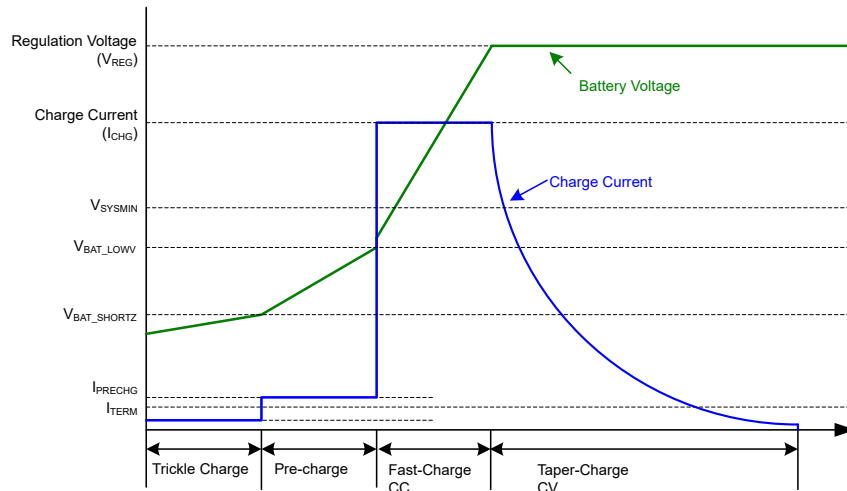


图 2-6. 锂离子充电曲线

为防止损坏并延长电池寿命，锂离子电池包保护器可防止电池放电至低于大约 2.5V。如果电池包保护器因电池深度放电而开路或 BAT 引脚上没有存储元件，则 BAT 电压  $\leq 2.0V$  ( $V_{BAT\_SHORTZ}$ )，充电器提供 100mA 范围内的小涓流充电以缓慢地升高电池包电压。然后，充电器必须以 100mA 至 800mA 范围内的低预充电电流充电，直到电池通常达到 2.6-3.0V ( $V_{BAT\_LOWV}$ )。在这两个阶段之后，CC 和 CV 级与之前讨论的超级电容器充电相同。建议锂离子电池具有充电终止功能，并且不会连续加满，例如，在电池放电标称值（至少 200mV）之前不会再充电。超级电容器通常不需要涓流充电或预充电，不需要充电终止，并且可以持续加满。幸运的是，大多数充电器允许禁用终止功能。但只有少数锂离子充电器允许禁用涓流充电。因此，需要对锂离子电池充电器的默认设置和/或附加电路进行一些修改才能为超级电容器充电。

## 2.5 使用锂离子降压/升压集成 FET 充电器为超级电容器或锂离子电池充电

通过修改集成 FET，在以下情况下，最好使用主机控制的降压/降压升压充电器为超级电容器充电

- 需要使用单个充电器 IC 在锂离子电池和超级电容器充电之间切换（使用主机软件更改充电设置）。
- 充电器的输入电压可以高于或低于  $V_{REG}$ 。
- $1.0A < I_{CHG} < 5.0A$
- 超级电容器的电容为中高或需要快速充电

BQ25798 是一款具有集成 FET 的降压/升压充电器，能够提供高达 5A 的电流。它是一款可提供最低系统电压的窄电压直流 (NVDC) 充电器。充电器的 I<sup>2</sup>C 寄存器允许将其  $V_{BAT\_LOWV}$  阈值降至  $V_{BATREG}$  的 15%。

BATREG = 5.0V 时， $V_{BAT\_LOWV}$  随后为 0.75V，低于  $V_{BAT\_SHORTZ} = 2.5V$ 。因此，充电器旁路预充电并直接从涓流充电转换为快速充电。为了帮助在  $V(BAT) = V(CAP) < 2.5V$  时为充电器提供 100mA 涓流充电电流，在 SYS 和 BAT 之间添加了一个具有热调节功能的限流开关 TPS25221，以加快电容器充电。由于 TPS25221 最小输入电压为 2.5V，BQ25798 最小系统电压必须设置为至少 2.5V 的最小值。较高的最小系统电压设置会导致开关上的损耗增加。主机可以在超级电容器电压达到 2.5V 后禁用开关。

BQ25798 + TPS25221 参考设计方框图如下所示。在此配置中，充电器可在底座中用于为超级电容器或锂离子电池包充电。可能需要一个机械开关来通知主机，从而告知充电器正在充电的储能元件以及如何复位充电器的寄存器。

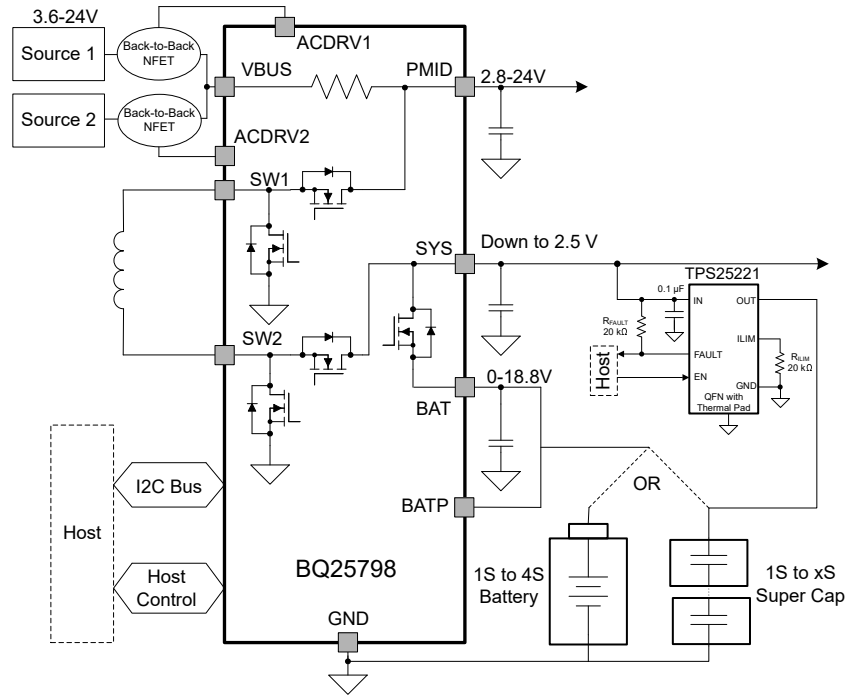


图 2-7. BQ25798 Plus TPS25221 超级电容器和锂离子充电参考设计方框图

图 2-8 中显示了使用 BQ25798 和 TPS25221 在  $I_{CHG}=2A$  且  $V_{BUS} = 5V$  的情况下将 10F 超级电容器充电至 5V 的完整充电周期。

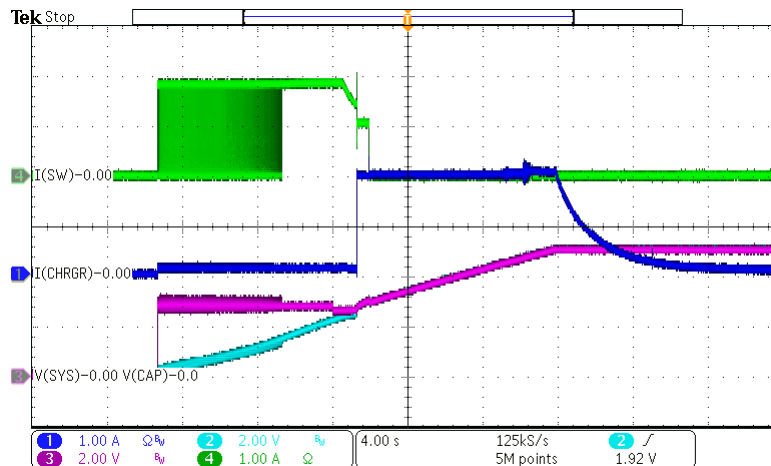


图 2-8. BQ25798 Plus TPS25221 在  $I_{CHG}=2A$  时为 10F 超级电容器充电的充电周期

粉红色迹线为  $V_{SYS}$ ，蓝色迹线为  $V_{CAP}$ 。当  $V_{CAP} < 2.5V$  时，充电器提供 100mA 涪流充电，开关在退出热故障占空比阶段后提供 1.9A 电流。然后，主机关闭开关，充电器提供整个 2A 快速充电电流。可以并联多个开关以分担损耗，缩短其出现热故障的时间并允许更高的充电电流。在此示例中，主机禁用了充电终止功能，因此 STAT 引脚（未显示）绝不会更改状态，并且转换器会无限期地以 CV 模式运行，以将超级电容器保持在 5V。

## 2.6 使用具有外部 FET 的降压/升压控制器为超级电容器充电

通过修改集成 FET，在以下情况下，最好使用主机控制的降压/降压升压充电器为超级电容器充电

- 充电器的输入电压可以高于或低于  $V_{REG}$ 。
- $I_{CHG}$  为高水平，通常  $\geq 3.0A$
- 超级电容器的电容非常高或需要非常短的充电时间

与许多充电器不同，具有外部 FET 的 BQ25713/30 系列降压/升压充电控制器不提供涓流充电。此外，即使是 NVDC 充电器，BQ25713/30 也具有 I<sup>2</sup>C 寄存器，允许用户禁用最小系统电压，从而实现预充电阶段和 BAT 引脚短路保护。在禁用最小系统电压的情况下，初始充电期间 BATFET 两端的电压将最小化。

如果需要最小系统电压，则可以启用控制器的最小系统电压并将其设置为系统的最低可接受值，从而更大幅度地降低 BATFET 上的损耗。

BQ25713 方框图如下所示。主机在充电器的 I<sup>2</sup>C 寄存器中设置充电电流和超级电容器电压调节以及前面提到的其他设置。

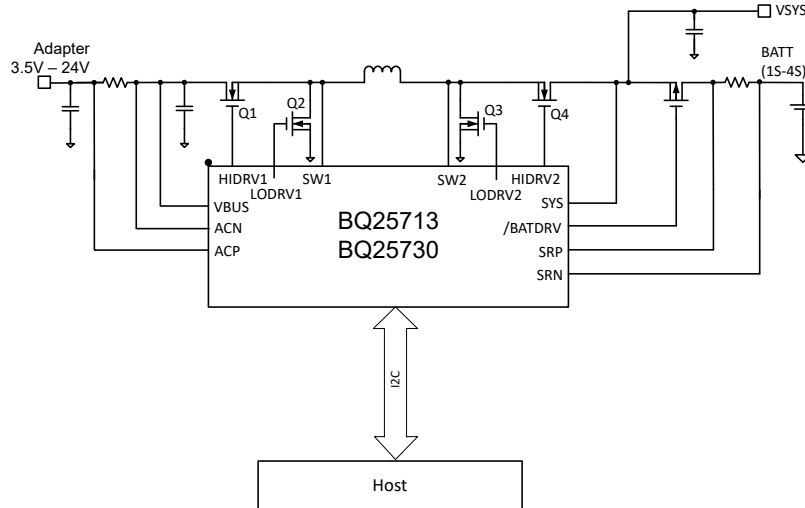


图 2-9. BQ25713 充电器方框图

图 2-10 中显示了使用 BQ25713 在  $I_{CHG} = 3A$  ( $V_{BUS} = 20V$ ) 时将 5F 超级电容器充电至 5.2V 的完整充电周期。

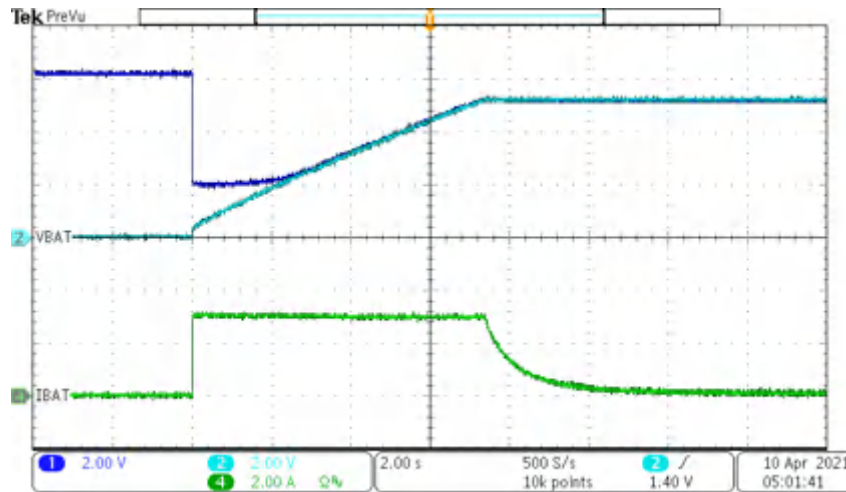


图 2-10. BQ25713 在  $I_{CHG} = 3A$  时为 5F 超级电容器充电的充电周期

如图 2-10 中的曲线所示，充电器需要一个最小输出电压（大约 2V）来提供一个给定的充电电流，所以  $V(SYS)$  被保持在这个电平，直到  $V(BAT) = V(CAP)$  上升至  $V(SYS)$ 。最初，BATFET 中的功率损耗很高但缓慢下降 ( $P_{L(MAX)} = 2V * I_{CHG}$ )。用户必须选择能够安全处理此功率耗散的 BATFET，尤其是在其充电电流较高时。

### 3 总结

本应用手册的超级电容器充电设计可通过更改充电电压和/或充电电流轻松进行调节，以适应更大或更高电压的超级电容器。充电时间变量是充电电路在超级电容器电压达到可管理电压电平之前如何管理其高功率损耗和热耗散的关键问题。表 3-1 对相关选项进行了比较。

**表 3-1. 超级电容充电设计选项**

| 设计                               | 输入功率电压       | 电容 | 充电电流        | 充电时间  | 其他特性                |
|----------------------------------|--------------|----|-------------|-------|---------------------|
| BQ25173 线性充电器                    | > V(REG)     | 低  | < 1A        | long  | 小尺寸                 |
| BQ24640 降压充电器                    | > V(REG)     | 中高 | >1A 但 < 10A | 中低    |                     |
| BQ25798 b-b 充电器<br>加 TPS25221 开关 | < 或 > V(REG) | 中高 | >1A 但 < 5A  | 中     | 使用主机软件进行锂离子或超级电容器充电 |
| BQ25713/30 b-b 控制器               | < 或 > V(REG) | 高  | >2A 但 < 20A | short |                     |



## 4 参考文献

- 德州仪器 (TI), [BQ25173 : 适用于 1 节至 4 节超级电容器的 800mA 线性电池充电器](#) 数据表。
- 德州仪器 (TI), [bq24640 高效同步开关模式超级电容器充电器](#) 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), [TPS25221 2.5V 至 5.5V、2A 持续电流限制开关](#) 数据表。
- 德州仪器 (TI), [BQ25730 具有电源路径控制和 USB-C PD 3.0 OTG 输出的 I2C 1 节至 5 节窄 VDC 降压/升压电池充电控制器](#) 数据表。

## 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 © 2023，德州仪器 (TI) 公司