

Application Note

采用 BQ25856-Q1 的电容器备用电路



Ethan Galloway

摘要

备用电容器或“最后关头”电路可在主电源发生故障时短暂升高备用电源的功率。备用电容器是各种应用的常见要求。备用电容器非常重要，需要它来确保 MCU 可以安全关闭，易失性内存可以存储，安全门可以打开或者在主电源出现故障期间小幅度升高功率。BQ25856-Q1 可以为超级电容器和正常电容器充电，使其能在此应用中工作。

内容

1 简介.....	2
2 ACUV 和 ACOV 设置.....	3
3 推导.....	4
4 应用示意图.....	5
5 应用示例 — 备用电解电容器.....	6
6 应用示例 — 备用超级电容器.....	10
7 总结.....	13
8 参考资料.....	13

插图清单

图 1-1. BQ25856-Q1 备用电容器方框图.....	2
图 2-1. ACOV 和 ACUV 电阻分压器.....	3
图 4-1. 应用方框图.....	5
图 5-1. BQ25856-Q1 完整充电和放电周期.....	7
图 5-2. BQ25856-Q1 电解电容器充电速度.....	7
图 5-3. BQ25856-Q1 在 1.4A 负载下提供备用电源.....	8
图 5-4. BQ25856-Q1 自动反向模式响应时间.....	9
图 6-1. BQ25856-Q1 为超级电容器充电.....	11
图 6-2. BQ25856-Q1 在 4A 负载下提供备用电源.....	12
图 6-3. BQ25856-Q1 使用超级电容器时的自动反向时间.....	13

表格清单

表 5-1. 设计要求.....	6
表 5-2. 硬件设置.....	6
表 5-3. 寄存器设置.....	6
表 6-1. 设计要求.....	10
表 6-2. 硬件.....	10
表 6-3. 寄存器设置.....	10

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 简介

在自动反向模式启用的情况下，主电源发生故障时，BQ25856-Q1 会在自动反向模式下运行。当输入电压 (VAC) 降至低于设置的欠压阈值时，BQ25856-Q1 可自动进入反向运行状态，并将 VAC 电压调节至设定的电压目标。BQ25856-Q1 还提供反向阻断保护、可调充电电压和充电电流。BQ25856-Q1 具有 4.4V 至 70V 的宽输入电压范围、最高 70V 的宽输出电压范围，最高充电电流为 20A。

使用备用电容器有两条路径。第一条路径是使用电解电容器。电解电容器可以充电到高电压，并以较小的电路板尺寸，以较小的代价存储相当大的功率。第二条路径是使用超级电容器。超级电容器具有很大的电容值，但单室超级电容器的工作电压可能约为 2.1V 至 3.5V。可能需要使用两个串联的超级电容器来获得更高的电压。

图 1-1 显示了 BQ25856-Q1 电路的简化方框图。

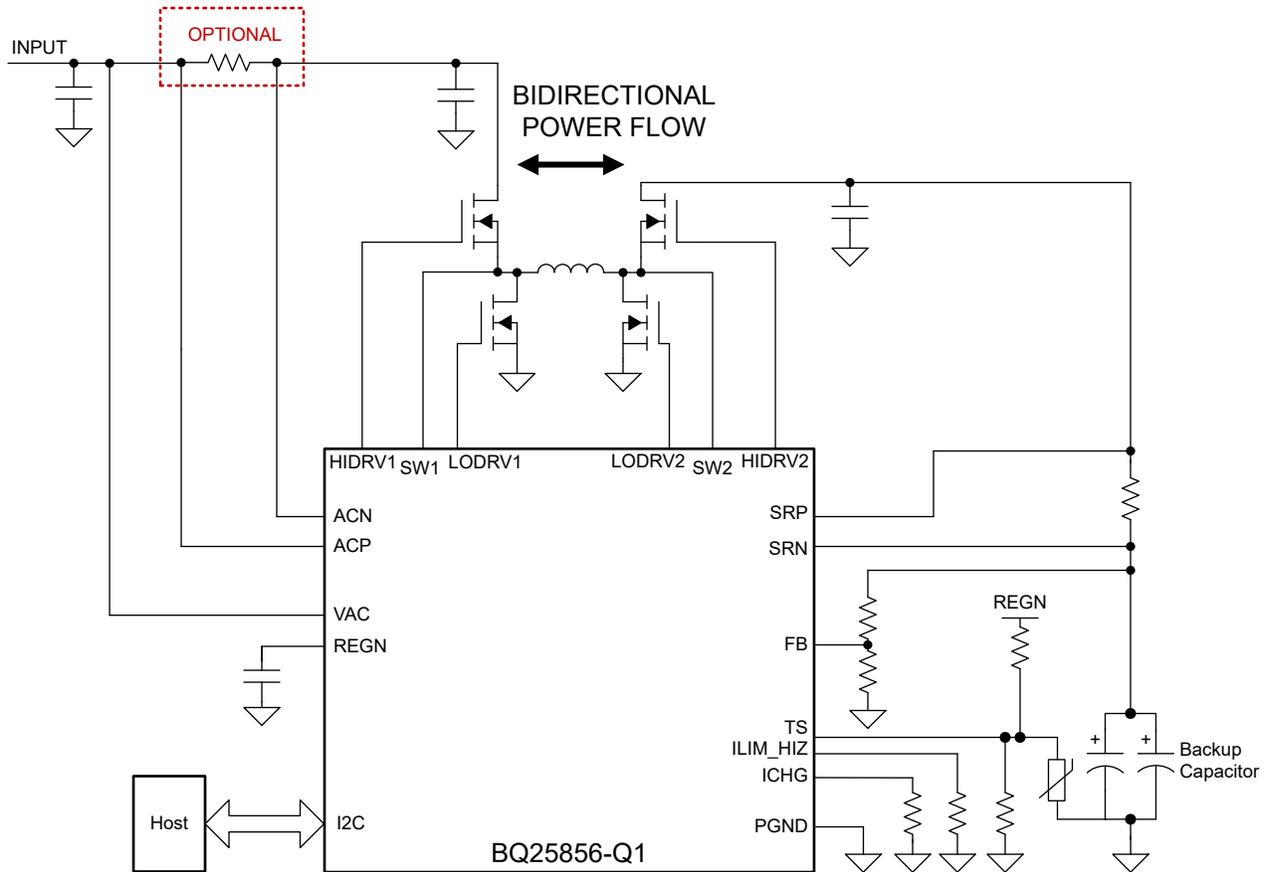


图 1-1. BQ25856-Q1 备用电容器方框图

2 ACUV 和 ACOV 设置

BQ25856-Q1 的 VAC 欠压阈值由 ACOV/ACUV 分压器设置。一旦电源降至 ACUV 设置以下且 EN_AUTO_REV 设置为 1，BQ25856-Q1 就会进入自动反向模式。ACUV 设置由 VAC、ACUV 和 ACOV 引脚上的电阻器分压器设置。这些引脚还控制 ACOV 设置和 ACUV_DPM 电压。ACOV 引脚会检测高于特定值的 VAC 电压。ACUV_DPM 电压会限制 BQ25856-Q1 的输出充电电流，以防止输入电源过载。图 2-1 显示了电阻分压器。

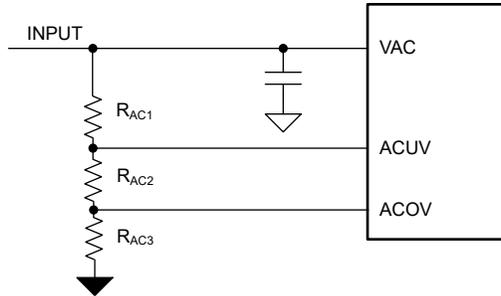


图 2-1. ACOV 和 ACUV 电阻分压器

ACUV/ACOV 设置通过以下公式设置。

$$V_{VACOV} = \frac{1.2(R_{AC1} + R_{AC2} + R_{AC3})}{R_{AC3}} \quad (1)$$

$$V_{ACUV_DPM} = \frac{1.2(R_{AC1} + R_{AC2} + R_{AC3})}{R_{AC2} + R_{AC3}} \quad (2)$$

$$V_{VACUV} = \frac{1.1(R_{AC1} + R_{AC2} + R_{AC3})}{R_{AC2} + R_{AC3}} \quad (3)$$

正确设置 ACUV 电压对于快速转换至关重要。最小 VAC 电压和 ACUV 阈值之间的差异较小，会导致反向模式更快触发。转换时间越短，系统电压降至临界电平以下所需的时间就越短。

3 推导

本节介绍了支持备用电源所需电容值背后的数学计算。一旦 SRN 引脚上的电容器电压降至 2.5V 以下，BQ25856-Q1 转换器就会关闭。可以存储在电容器中的可用能量的数值可以使用 [方程式 4](#) 计算：

$$E_{Cap} = \frac{1}{2}C(V_{Cap}^2 - 2.5^2V) \quad (4)$$

电路所需的总能量由系统电压设置，所需电流和系统需要持续工作的时长可以使用 [方程式 5](#) 计算：

$$E_{Load} = I_{Load}V_{Load}\Delta t_{Load} \quad (5)$$

现在，可以使用 [方程式 6](#)，将这两个公式组合起来以计算所需的总电容或充电电压：

$$2\Delta t_{Load}I_{Load}V_{Load} = C(V_{Cap}^2 - 6.25V) \quad (6)$$

请注意，这些公式只对系统所需总能量进行估算。转换器的开关损耗、导通损耗和等效串联电阻 (ESR) 损耗会降低备用电容器的可用功率。

对于 10J 或更少的备用能量，可以使用电解电容器。对于更高的能量需求，超级电容器的工作效果更好，因为其电容大得多。

4 应用示意图

图 4-1 中显示了应用示意图，示意图包含以下示例电解和超级电容器备用电路的测量点。

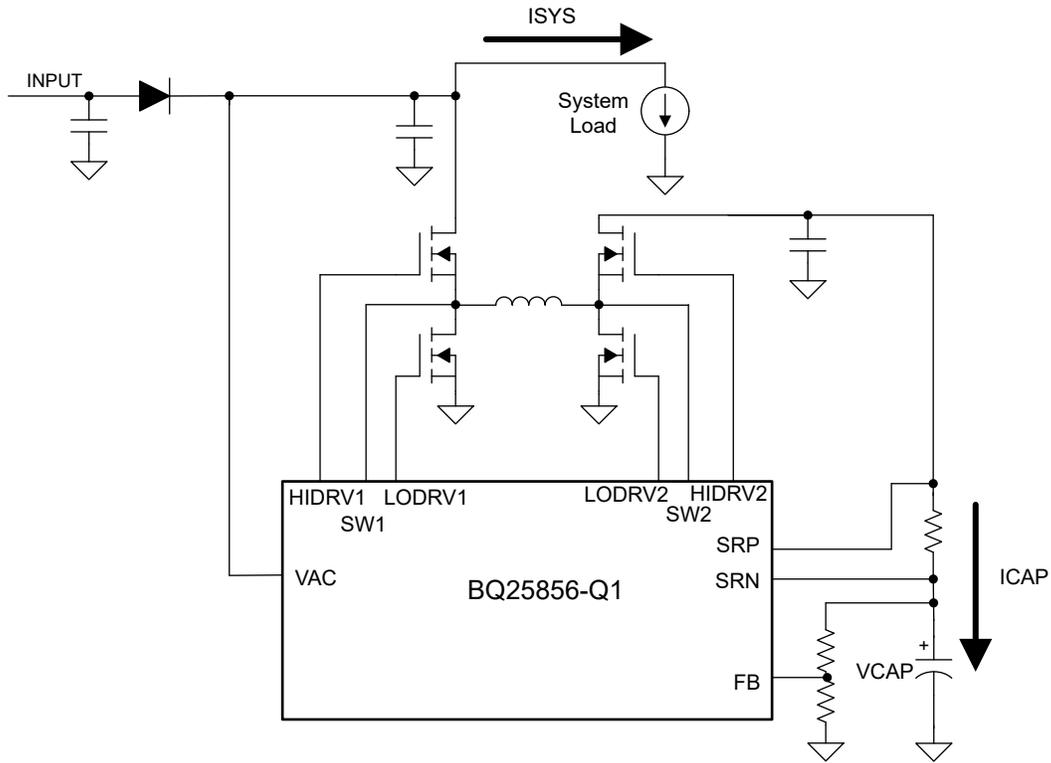


图 4-1. 应用方框图

在图 4-1 中，二极管将输入电压与系统电压隔开。可以看到，当 VAC 为高电平时，VAC 约等于 V_{SYS} 。当输入电压关断时，VAC 电压下降，BQ25856-Q1 进入反向模式。此时，电容器电流在转换期间从正电流翻转到负电流，并开始拉电流。然后， V_{SYS} 电压降至反向电压设置。

5 应用示例 — 备用电解电容器

在以下场景中，汽车电池为 1.4A 系统负载供电。此系统需要在 5V 电压下将 1.4A 系统负载维持 600ms。备用电源允许汽车系统安全关闭。表 5-1 汇总了要求。

表 5-1. 设计要求

参数	值
输入电压	12V
系统负载	1.4A
所需反向电压	5V
所需负载保持时间	600ms
所需总能量	4.9J

由于需要的能量为 4.9J，因此可以将电解电容器用于备用电容器。如果布板空间受限，与增大电容相比，高压电解电容器可以容纳更多的能量。58V 电压可用于该电容器。可根据方程式 7 计算所需电容。

$$\frac{2I_{Load}V_{Load}At_{Load}}{V_{Cap}^2 - 6.25V} = C \quad (7)$$

所需的电容为 2,502μF。该数字四舍五入为 3000μF。一旦包含 EVM 输出电容器，总电容为 3160μF。

表 5-2. 硬件设置

参数	值
输出电容器	3160μF (3x1000μF + 160μF)
输出电压	58V
ACUV 设置	6.2V

表 5-3. 寄存器设置

寄存器	说明
REG0x14[0]=0	设置 EN_PRECHG=0 并设置充电器以跳过涓流充电和预充电模式。这会将 BQ25856-Q1 设置为仅处于快速充电模式或收尾充电模式。
REG0x14[3]=0	设置 EN_TERM = 0 并确保充电器在 VIN 正常时不会停止充电。这可确保电容器始终具有尽可能大的电荷。
REG0x02=0x0A0	设置 ICHG_REG = 2000mA。
REG0x06=0x01E0	设置 IAC_DPM=15000mA。输入电源的最大电流输出为 15A。这样可确保输入不会崩溃。
REG0x19[1]=1	设置 EN_AUTO_REV=1，这将启用自动反向模式。
REG0x0C=0x03E8	设置 VAC_REV = 5000mV，并设置 BQ25856-Q1 在反向模式下也调节 VAC 的电压。
REG0x1E[5]=1	设置 SYSREV_UV=1。默认情况下，如果 VAC 低于反向电压目标的 80%，反向模式将关闭。SYSREV_UV=1 时，会将欠压设置固定为 3.3V。即使 VAC 降至反向电压目标以下，这也可以确保反向模式开启。

图 5-1 显示了一个完整的充电和放电周期。BQ25856-Q1 的充电电流为 2A 时，将输出电容器从 0V 充至 60V 大约需要 100ms。作为参考，通道 1 是输入源，以蓝色表示。通道 2 是电容器电压，以青色表示。通道 3 是系统电流。通道 4 是流出电容器的电流。流入电容器的电流为负电流。当输入电压下降时，BQ25856-Q1 会进入反向模式，系统负载电流保持恒定。

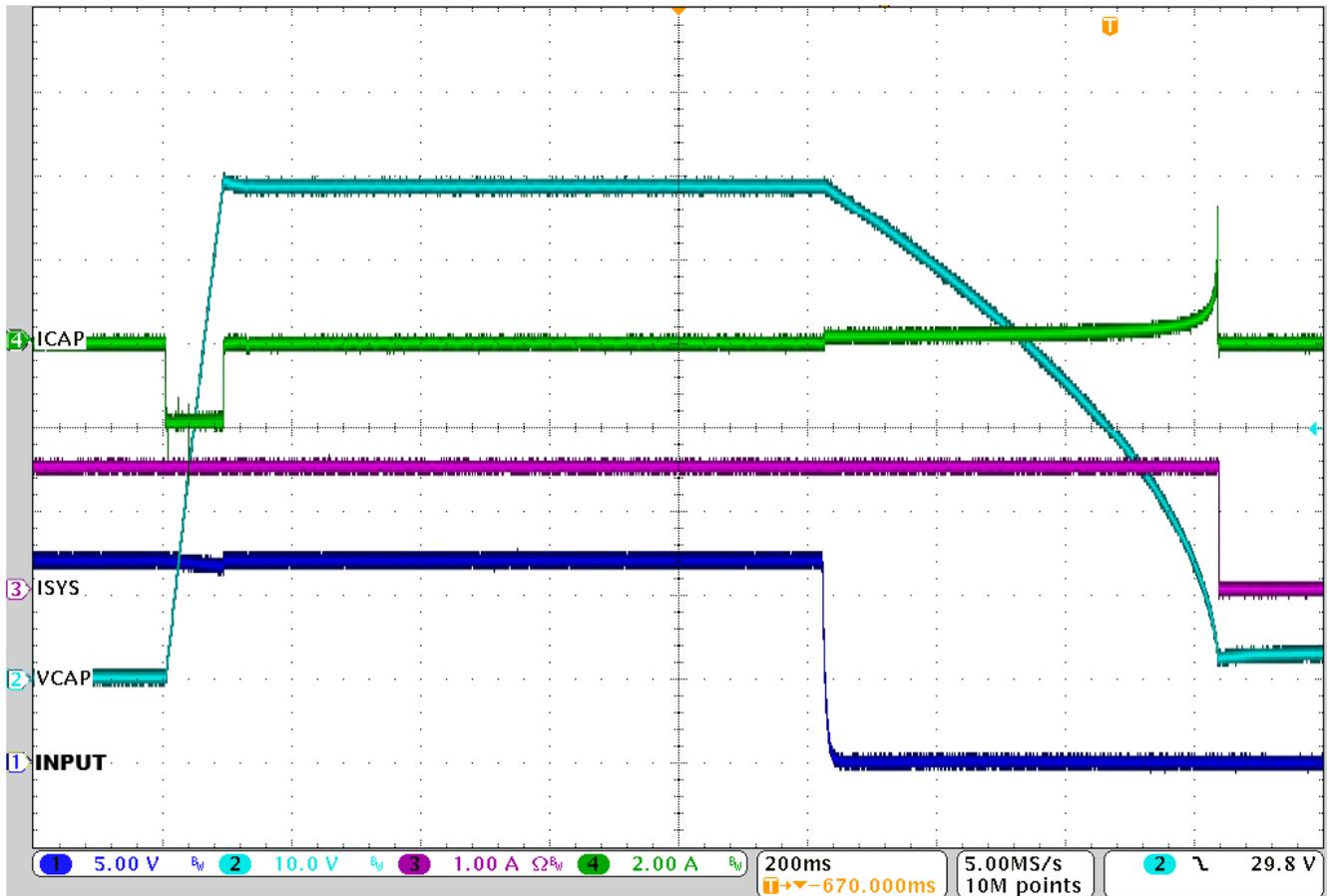


图 5-1. BQ25856-Q1 完整充电和放电周期

图 5-2 放大输出电容器充电速度。

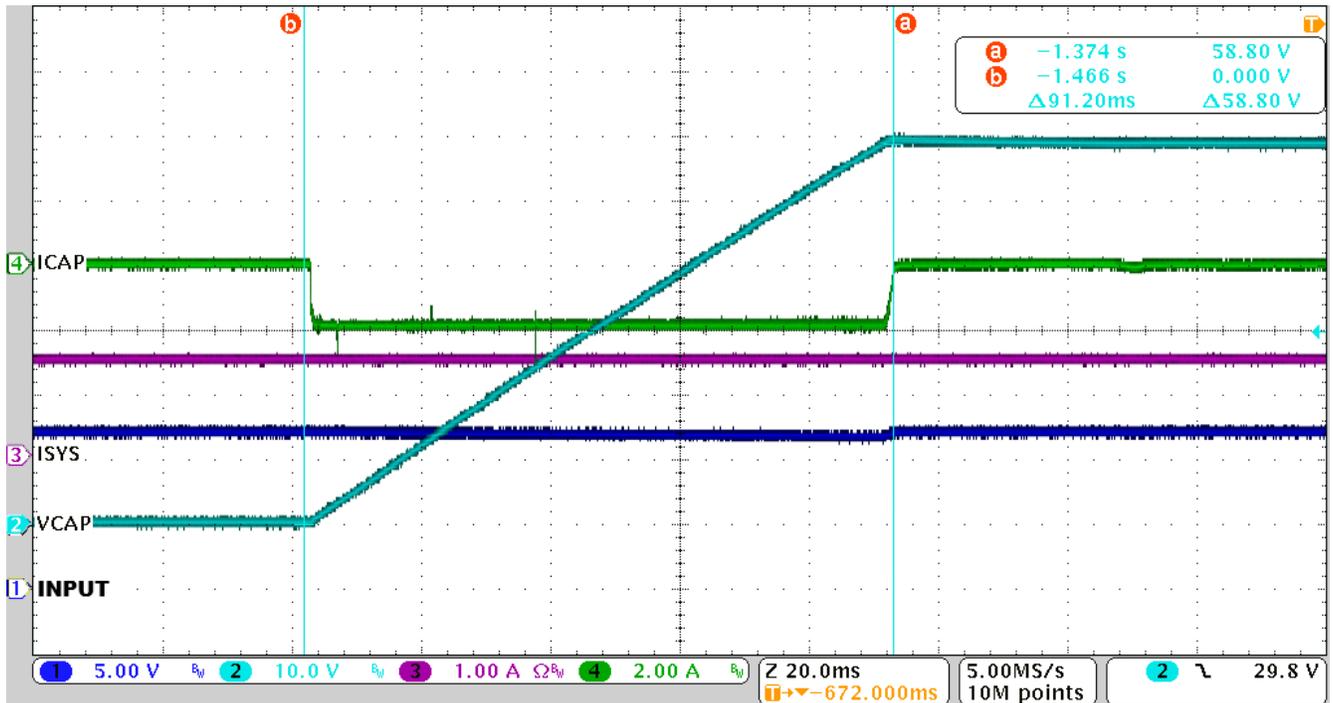


图 5-2. BQ25856-Q1 电解电容器充电速度

图 5-3 放大电容器放电。BQ25856-Q1 可为 1.4A 系统负载提供 610ms 的备用电源。

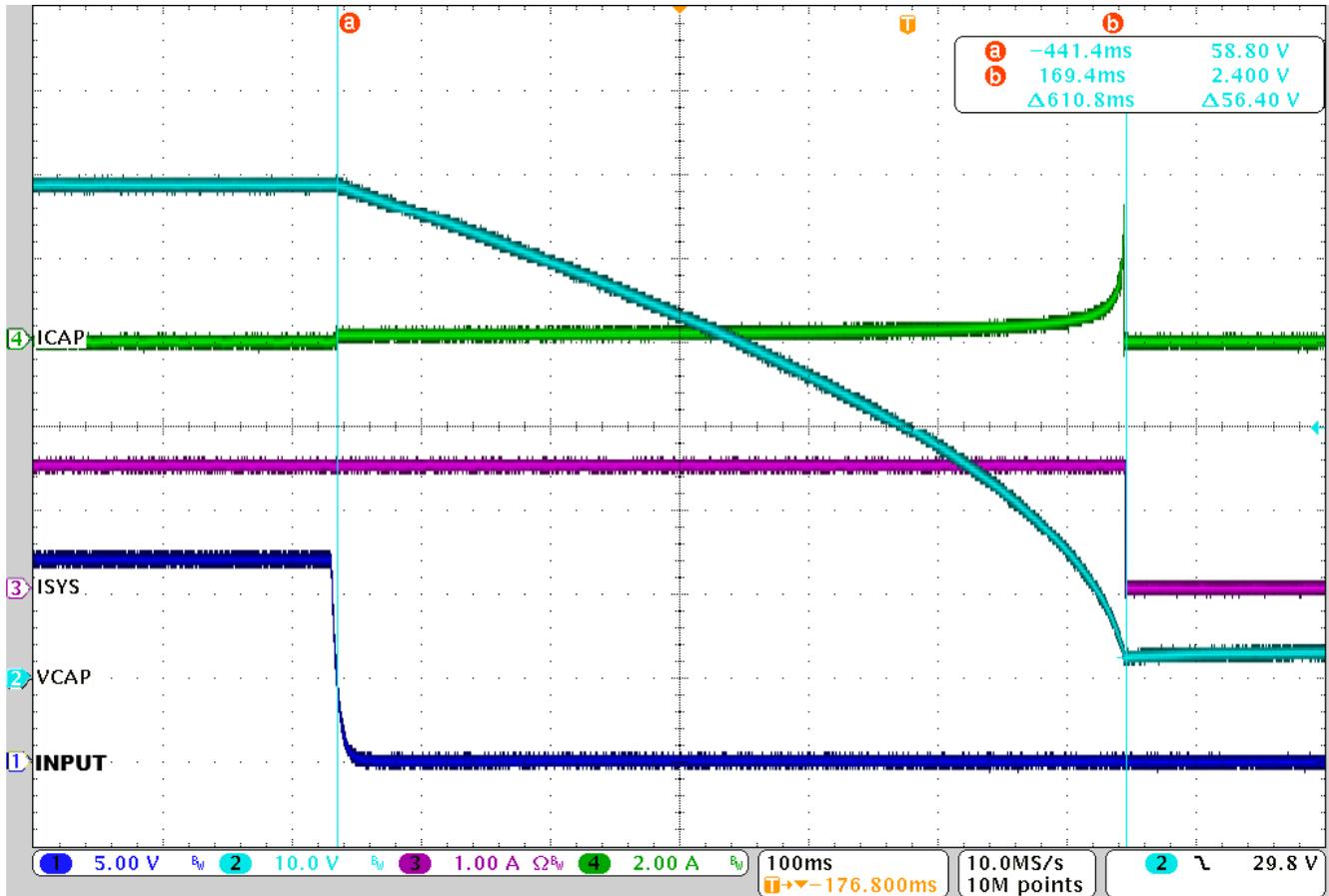


图 5-3. BQ25856-Q1 在 1.4A 负载下提供备用电源

图 5-4 显示了快速反向模式激活的情况。一旦 VAC 电压超过 ACUV 阈值，BQ25856-Q1 就会需要平均 100μs 的时间激活反向模式并开始拉电。确切时间取决于负载电流和电压。在上述同一电路的图 5-4 中，从充电状态切换到放电状态的切换时间约为 50μs。作为参考，通道 1 是 VAC，以蓝色表示。通道 3 是开关节点 2，以品红色表示。通道 4 是流入电容器的电流，以绿色表示。流入电容器的电流将分配一个负值。当 BQ25856-Q1 从充电状态切换到放电状态时，电容器电流从负变为正。

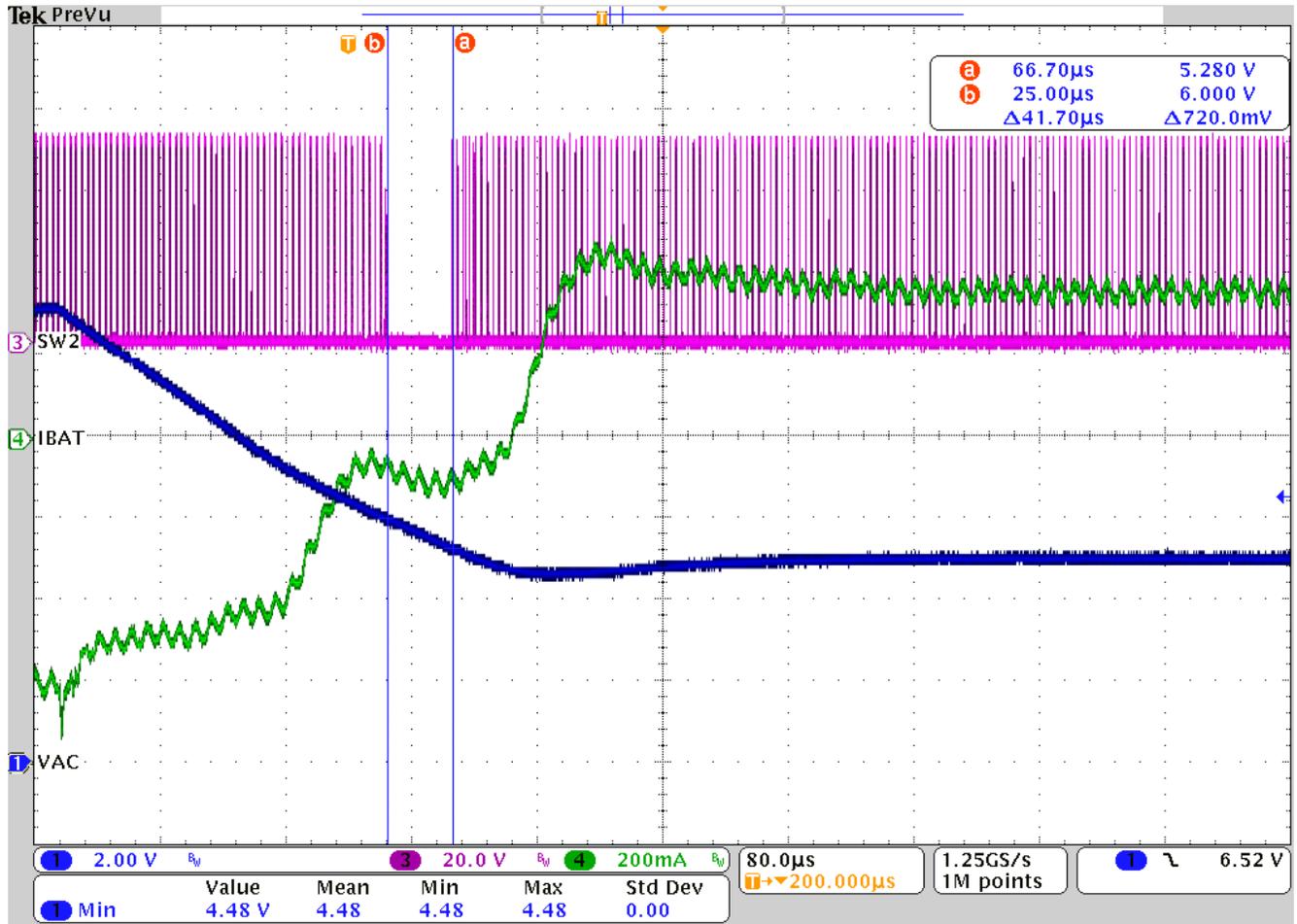


图 5-4. BQ25856-Q1 自动反向模式响应时间

6 应用示例 — 备用超级电容器

BQ25856-Q1 还可与超级电容器备用系统配合使用。在以下示例中、备用电容器电路需要在 4A 电流下维持 10V 的系统负载 0.9 秒。这是 BQ25856-Q1 的极端情况，因为电容器电压降至 2.5V 后，电容器的最大放电电流会大于 15A。表 6-1 中概述了设计要求。

表 6-1. 设计要求

参数	值
输入电压	12V
系统负载	4A
所需反向电压	10V
所需负载保持时间	0.9s
所需总能量	36J

超级电容器可为这些高能量备用系统提供出色的储能功能。单室超级电容器的最大充电电压较低，约为 2.5V 至 3.7V。为了获得更高的电压和更多的可用功率，必须使用多个串联超级电容器。两个串联的超级电容器的充电电压可达 5V。上述公式可用于计算所需电容为 3.84F。由于从电容器中拉出极端电流，此数字乘以 4 得到 11.52F。可使用两个串联的 25F 电容器获得 12.5F 的总电容，总额定电压为 5V。

表 6-2. 硬件

参数	值
输出电容器	12.5F (2x25F 电容器串联)
输出电压设置	5V
ACUV 设置	10V

表 6-3. 寄存器设置

寄存器	说明
REG0x02=0x0640	将 ICHG_REG 设置为 20A 的最大值，以尽可能快地为电容器充电。
REG0x06=0x01E0	将 IAC_DPM 设置为 15A，以防止充电器损毁输入电源。
REG0x0C=0x07D0	设置 VAC_REV = 1000mV，这会设置反向模式电压。
REG0x14[3]=0	设置 EN_TERM = 0。
REG0x14[0]=0	设置 EN_PRECHG=0 并设置充电器以跳过涓流充电和预充电模式。
REG0x18[6]=0	设置 EN_ILIM_HIZ_PIN=0。这会禁用 EVM 上的输入电流硬件限制。现在，IC 仅使用 IAC_DPM 寄存器来调节输入电流。
REG0x1E[5]=1	设置 SYSREV_UV=1。默认情况下，如果 VAC 低于反向电压目标的 80%，反向模式将关闭。SYSREV_UV=1 时，会将欠压设置固定为 3.3V。即使 VAC 降至反向电压目标以下，这也可以确保反向模式开启。

在图 6-1 中，BQ25856-Q1 EVM 需要 6.78 秒来完全对电容器充电。通道 1 是输入电压，以蓝色表示。通道 2 是电容器电压，以青色表示。通道 3 是系统电压，以品红色表示。通道 4 是电容器电流，以绿色表示。流入电容器的电流为正。

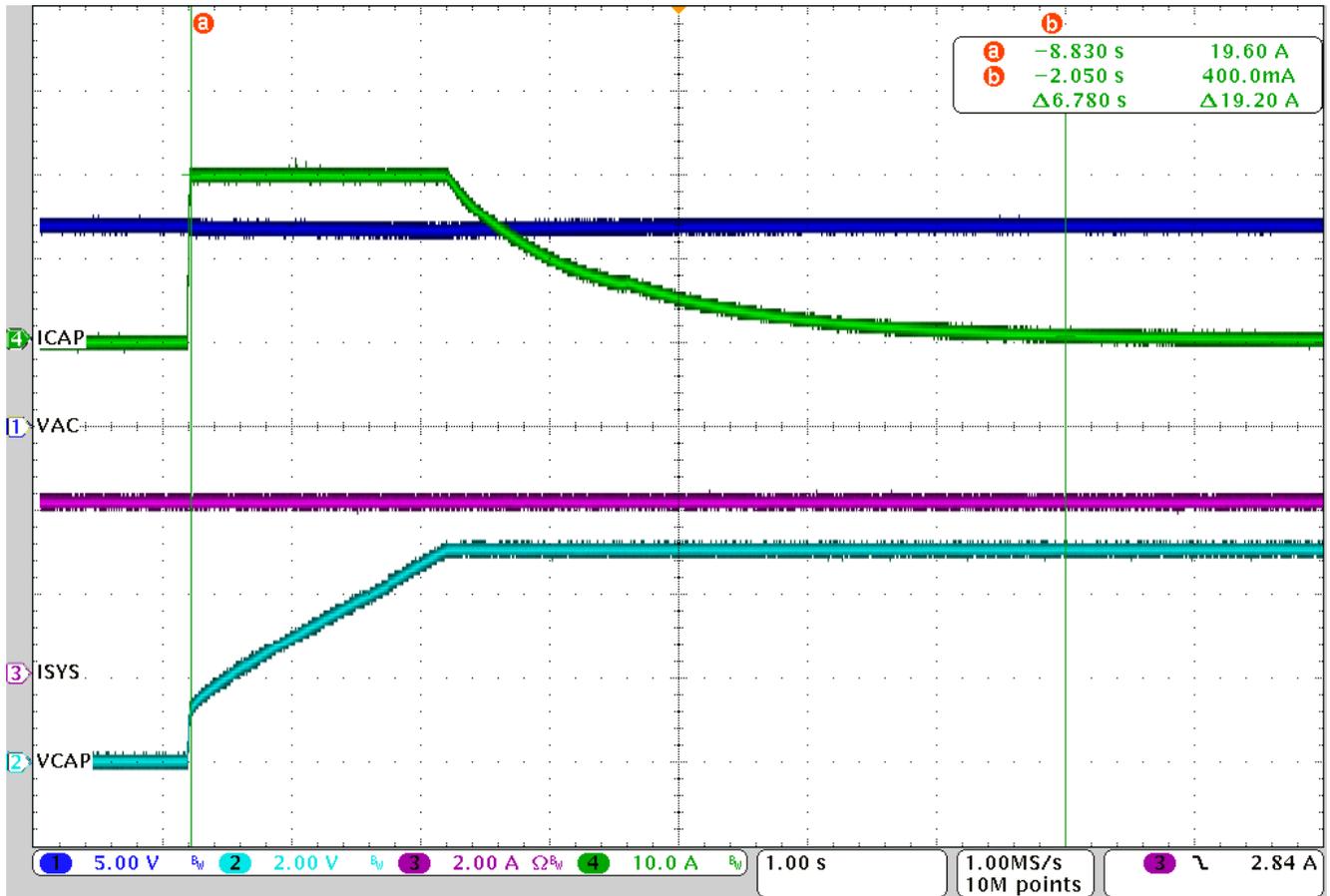


图 6-1. BQ25856-Q1 为超级电容器充电

在图 6-2 中，BQ25856-Q1 在 10V 电压下的 4A 系统负载持续 900 毫秒。通道 1 是充电器上的 VAC 电压。通道 2 是备用电容器上的电压。通道 3 是系统负载电流。通道 4 是流入电容器的电流。当 BQ25856-Q1 开始拉电时，电容器电流变为负电。请注意，VAC 开始下降，但 VAC 稳定在 10V。

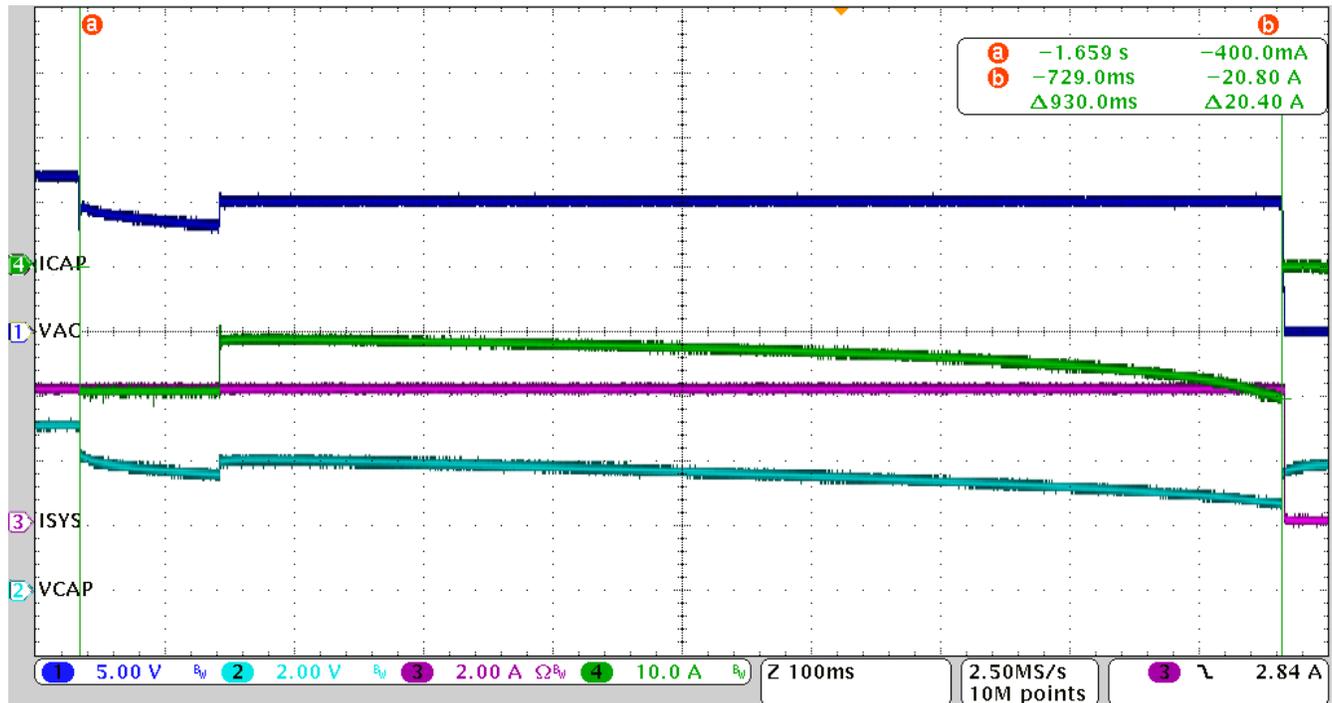


图 6-2. BQ25856-Q1 在 4A 负载下提供备用电源

请注意，反向模式关断后电容器电压升高，这表明存在 ESR 损耗。为了在 10V 电压下维持 4A 的电流输出，当电容器电压为 2.5V 时，BQ25856-Q1 需要电容器提供 20A 电流。这会导致电容器上出现 1.28V 的压降。超级电容器的 ESR 计算结果为 64mΩ、ESR 在放电结束时消耗 25.6W 的功率。在这些大电流下，电容器的 ESR 和导线的 IR 压降起着重要作用。可以通过使用具有较低 ESR 和较大导线的电容器来提高可用功率。请注意，BQ25856-Q1 将最大放电电流设置为 20A。可以使用 IBAT_REV 位来减小该值。

请注意，在这些高负载下运行超级电容器会降低有效电容，随着时间的推移增加 ESR，并缩短工作寿命。通过使用具有低 ESR 的超级电容器来减少内部发热，可以延长超级电容器的使用寿命。超级电容器还可以并联使用，以降低每个电容器上的电流负载。对这些影响的深入分析不在本应用手册的讨论范围内。节 8 中列出了几份有用的研究文件。

在图 6-3 中，当输入电源断开时，BQ25856-Q1 需要约 60μs 的时间从充电状态转换到放电状态。通道 1 是流入 4A 系统负载的电流，以蓝色表示。通道 2 是 BQ25856-Q1 上的 /INT 引脚，以青色表示。当 BQ25856-Q1 更改状态时，/INT 引脚会生成中断脉冲。通道 3 是在 4A 系统负载上测量的电压，以品红色表示。通道 4 是开关节点 1，以绿色表示。由于 VAC 变为低电平且自动反向模式开启，/INT 引脚变为低电平。

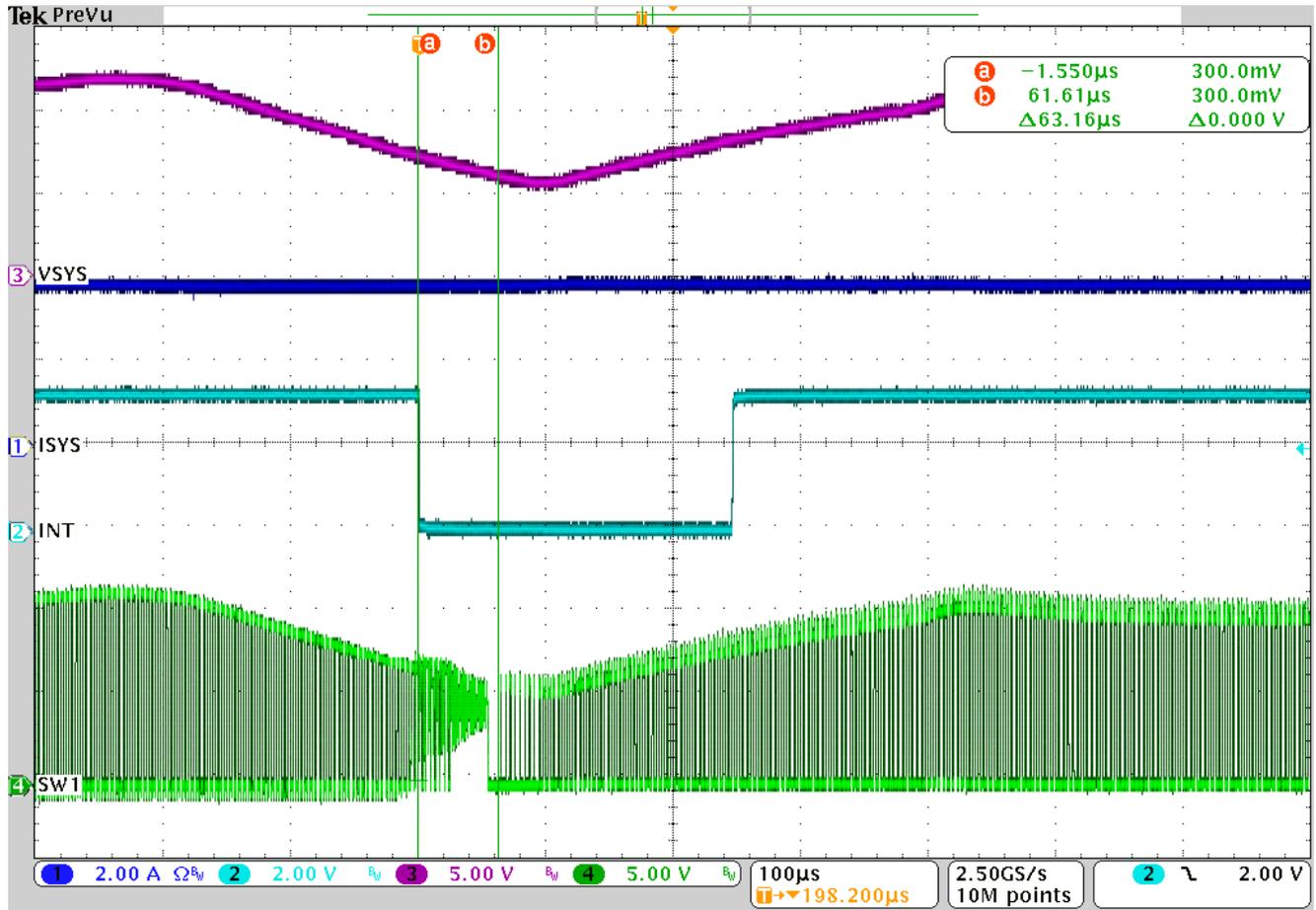


图 6-3. BQ25856-Q1 使用超级电容器时的自动反向时间

7 总结

BQ25856-Q1 适用于工业或汽车备用应用。BQ25856-Q1 能够处理宽输入和输出范围。IC 经久耐用，可承受高达 80V 的瞬态电压。响应速度超快，IC 可与电解电容器和超级电容器电路结合使用。这些特性使 BQ25856_Q1 IC 具备可靠的备份功能。

8 参考资料

- 德州仪器 (TI), [BQ25856-Q1 : 汽车, 独立/I2C 控制、1 节至 14 节电池、双向降压/升压电池充电控制器](#) 数据表
- 德州仪器 (TI), [\[FAQ\] BQ2575X FAQ 页](#)、[E2E FAQ 页](#)。
- 德州仪器 (TI), [\[FAQ\] BQ25756 : 关于 ACUV 和 ACOV 引脚, 我需要了解什么?](#), E2E FAQ 页面。
- Vlasta Sedlakova, Josef Sikula, Jiri Majzner, Petr Sedlak (2019), [Supercapacitor Degradation and Life-time](#), Bucharest, Romania; European Passive Components Institute
- Sedlakova V, Sikula J., Majzner J., Sedlak P., Kuparowitz T., Buergler B., Vasina P. (2016), [Supercapacitor Degradation Assessment By Power Cycling And Calendar Life Tests](#), Wrocław, Poland; Committee on Metrology and Scientific Instrumentation of the Polish Academy of Sciences

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