

如何使 BQ25792 可靠地激活过放电池

Gabriel Xu

Sales and Marketing/South China

ABSTRACT

随着 USB Type-C PD 接口的普及，内部集成 MOSFET 的升降压（Buck-Boost）充电芯片 BQ25792 因为其高功率密度、内部集成 ADC，监控和保护功能完备等众多优点被广泛地应用于不同的便携式设备中。便携设备电池包的保护芯片一般都会具备电池过放电保护的功能，在电池电压下降至过放保护阈值时，电池保护芯片会进入过放保护状态，对外输出电压为 0V。要激活进入过放保护的电池包，需要充电芯片在无电池电压条件下稳定输出高于保护芯片激活阈值的电平才能实现重新激活。本文将重点探讨过放电池激活的原理，以及如何才能使 BQ25792 可靠地激活电池并在无电池或者电池永久性损坏的条件下运行。

Contents

1	电池过放电保护原理及激活机制	2
2	电池过放电保护后 BQ25792 的运行状态	3
3	提升电池过放状态下 BQ25792 的输出电压	5
4	电池包移除及永久性失效检测方法	6
5	结论	9
6	参考文献	9

Figures

Figure 1.	电池包的过放电保护及永久性失效原理	2
Figure 2.	电池移除条件下 SYS 和 BAT 输出电压波形(电池串数配置: 3 串)	4
Figure 3.	BAT 引脚增加 100uF 电容输出电压波形(电池串数配置: 3 串)	5
Figure 4.	BAT 引脚增加 220uF 电容输出电压波形(电池串数配置: 3 串)	6
Figure 5.	关闭充电功能后 BAT 和 SYS 的输出电压波形	7
Figure 6.	基于外部 NTC 的智能电池温度监控及充电控制	7
Figure 7.	开启强制放电后 BAT 引脚的波形	8

Tables

Table 1.	TI 电池保护芯片的过放电保护参数	3
Table 2.	BQ25792 BAT 引脚电压输出特性	4

1 电池过放电保护原理及激活机制

便携式设备在电池电量低时会自动执行关机逻辑，避免进一步放电导致电池被过放。一般我们将这种通过关闭多数系统负载从而大幅降低电池放电功率的方式来实现过放保护的机制称为软件过放保护。但是由于放电路径并未被真正切断，而且电池保护板以及其他处于关闭状态的硬件电路仍然存在静态电流及漏电流，如果系统关机后未被及时充电并长时间存放，电池电量仍然会缓慢但持续地下降，最终会触发电池保护芯片的硬件过放电保护。

电池保护芯片通过控制一对“背靠背”的 MOSFET 来分别控制充电路径和放电路径的通断，其典型的应用电路如 Figure.1 所示。Q_DSG 中的 DSG 是“Discharge”的缩写代表放电管，Q_CHG 中的“CHG”是“Charge”的缩写代表充电管。在电池电压处于正常运行区间时，Q_DSG 和 Q_CHG 都是处于导通状态，电流可以双向进行流动。在电池进入过放保护状态时，保护芯片关闭放电管 Q_DSG，而 Q_CHG 依然保持导通。这就意味着电池包的放电路径被切断，电流只能单向流动。在电池包进入过放保护后，虽然对外的放电路径被切断，系统功耗大大降低，但是保护芯片自身的耗电以及电芯本身的自放电还是会使得电芯的电压进一步下降。进入过放电保护的电池包，如果没有被及时的进行重新充电激活并长时间静置，电芯的电压会持续下降直至保护芯片的最小供电电压以下，芯片会彻底停止工作，Q_DSG 和 Q_CHG 最终会同时被关闭。这种情况下由于充电路径被彻底的切断，因此无法通过外部充电重新激活，可以视为电池包进入永久性地、不可恢复的失效的状态。

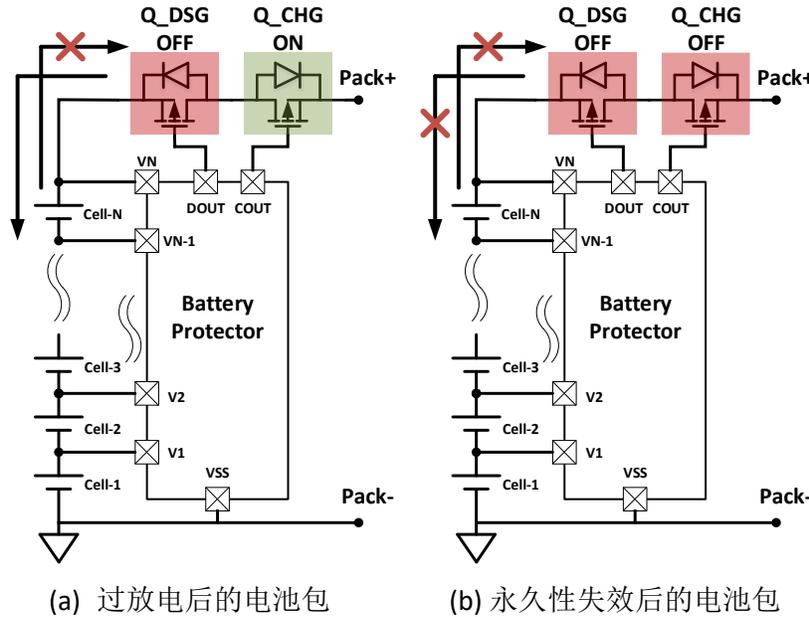


Figure 1. 电池包的过放电保护及永久性失效原理

保护芯片的规格书通常都会给出以单节电芯电压来标定的欠压保护点 UVP (Undervoltage Protection)。对于多节电芯串联的电池包而言，考虑到电池电压不均衡的情况，任意一节电芯电压低于 UV 阈值都会触发电池过放保护，并经过一段的延迟时间后，充电路径才会被断开，这个延迟时间一般我们称为 **Output Delay** 即输出延迟。在进入过放电保护之后，在对电池重新进行充电后，如果每一节电芯的电压都大于欠压保护点恢复阈值(UVP Recover Threshold)，则保护芯片会推出过放保护状态，电池包被重新激活，允许对外放电。这个欠压保护点恢复阈值可以通过 **UVP threshold** 和 **UVP Hysteresis** 参数计算获得：

$$UVP\ Recover\ Threshold = UVP\ Threshold + UVP\ Hysteresis$$

UVP Recover Threshold 是按照单节电芯的电压来标定的，对于多节电芯串联的电池包，外部需要提供的激活电压 **Uactivate** 需要将 **UVP Recover Threshold** 乘以电池节数 **N**。在进行充电激活时，因为 **Q_DSG** 此时处于关闭状态，充电电流经由 **D_DSG** 的体二极管对电芯进行充电，所以我们还需要把体二极管的压降考虑在内，因此最终外部所需的最小激活电压为：

$$U_{activate} = UVP\ Recover\ Threshold * N + V_f$$

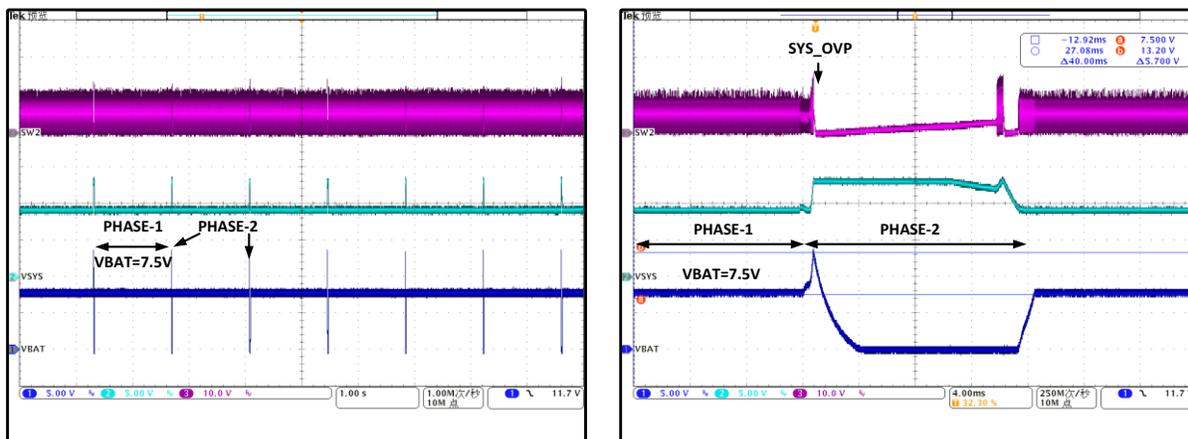
在 **Table 1** 中给出了 TI 几种常用的电池保护芯片过放电保护参数

GPN	UVP threshold	UVP Hysteresis	Output Delay	UVP Recover threshold
BQ7720700	2.25V	0.1V	1s	2.35V
BQ7721606	2.5V	0.1V	1s	2.6V
BQ7790522	2.8V	0.2V	1s	3.0V

Table 1. TI 电池保护芯片的过放电保护参数

2 电池过放电保护后 **BQ25792** 的运行状态

电池进入过放电保护后，由于电池包内的放电路径已经被切断了，所以电池包对外的输出电压为 **0V**。因此对于充电芯片而言，此时的运行状态相当于电池包被移除（没有电池包）的情况。在充电使能的情况下，**BQ25792** **BAT** 引脚的输出不是一个恒定的电压，输出波形如 **Figure2** 所示。实验波形基于 **BQ25792** **EVM** 板测试所得，**BAT** 和 **SYS** 端包含 **EVM** 原有的电容，没有添加额外的输出电容。



(a) SYS 和 BAT 输出电压波形

(b) SYS 和 BAT 输出电压波形(Zoom In)

Figure 2. 电池移除条件下 SYS 和 BAT 输出电压波形(电池串数配置: 3 串)

BAT 的输出波形主要分为两个阶段，第一个阶段 VBAT 维持一个稳定的输出电压，在电池串数配置为 3 串时，此阶段输出电压为 7.5V。第二个阶段 BAT 输出电压在短暂上升后，电压下降为 0V。通过观察 SYS 和 SW 节点的电压不难看出，当芯片尝试为电池进行恒流充电，由于外部为开路状态，因此充电芯片不断的提升输出电压来尝试让充电电流达到目标的恒流值，最终导致 SYS 引脚电压过高触发系统过电压保护(System Overvoltage Protection)，后文简称 SYS_OVP，并导致功率变换器关闭。在功率变换器停止输出后，如果 BAT 引脚外接的电容量较低时，BAT 的电压会逐渐下降到 0。

如果我们根据不同的电池串数来检查 BAT 引脚的输出电压特性。我们会发现如表 2 所示的规律。不难看出，在电压稳定阶段，每串电池对应的稳定电压输出为 2.5V。在这种情况下，如果电池包的 UVP Recover threshold 为 2.5V，考虑到还需要将体二极管的压降 VF 考虑在内，BQ25792 此时输出的电压是无法对过放的电池包进行激活的。而市面上包括 TI 在内的许多保护芯片，其 UVP Recover threshold 是等于或者大于 2.5V 的，这些芯片如果要搭配 BQ25792 一起使用，必须要找到一种方法，能够提升 BQ25792 在电池过放条件下的输出电压。

BQ25792 在电池移除情况下 BAT 引脚的输出电压				
电池串数	1 串	2 串	3 串	4 串
VBAT	2.5V	5V	7.5V	10V

Table 2. BQ25792 BAT 引脚电压输出特性

3 提升电池过放状态下 BQ25792 的输出电压

为了解决 BAT 引脚输出电压过低无法激活过放电池的问题，我们需要找到一种方法提升 VBAT 的输出电压。如前文所述，BQ25792 会周期性地尝试为电池进行充电从而提升 BAT 引脚的电压，直至 BAT 和 SYS 引脚的电压都接近满充电电压并触发 SYS_OVP 才停止。利用这个原理，如果我们能够在 SYS_OVP 触发保护后的一段时间内维持这个接近满充电电压的输出状态，则可以实现过放电池的重新激活。为了实现这一目的，我们在 BAT 引脚加入额外的 100uF 的电容并重复前面的测试，实验结果如 Figure.3-(a)所示。实验结果表明，在 BAT 引脚增加电容能够有效的抬升其输出电压的最小值，其电压不会降至 0V 而且最小输出电压被抬升至 7.9V。但是由于 SYS 节点的电压不稳定所以还是会频繁的触发 SYS_OVP 事件，因此我们尝试在 SYS 节点也加入更多的电容来增加 SYS 节点电压的稳定性，在 SYS 引脚增加 100uF 电容后的实验波形如 Figure.3-(b)所示。实验结果表明在 SYS 节点增加电容后，SYS 和 BAT 引脚都能获得更稳定的输出波形，然而 BAT 的最小电压也只有 8V，这个电压还是不足以可靠激活市面上大多数的电池保护芯片，其电压还需要进一步提升，我们继续尝试增大 BAT 外接电容至 220uF，输出波形如 Figure.4 所示。实验结果表明，BAT 输出电压的最小值抬升至 10.1V，已经能满足大多数保护芯片的激活电压要求。

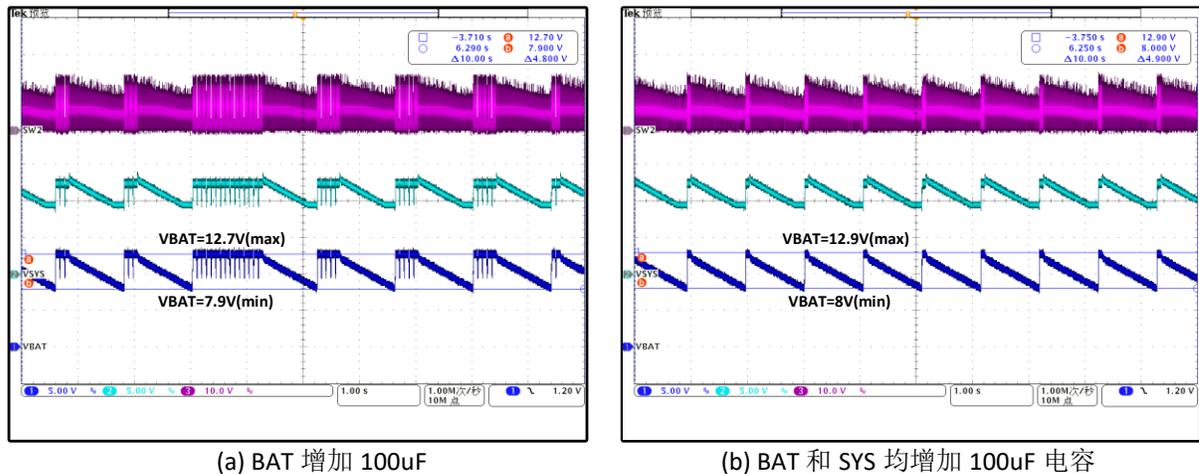


Figure 3. BAT 引脚增加 100uF 电容输出电压波形(电池串数配置: 3 串)

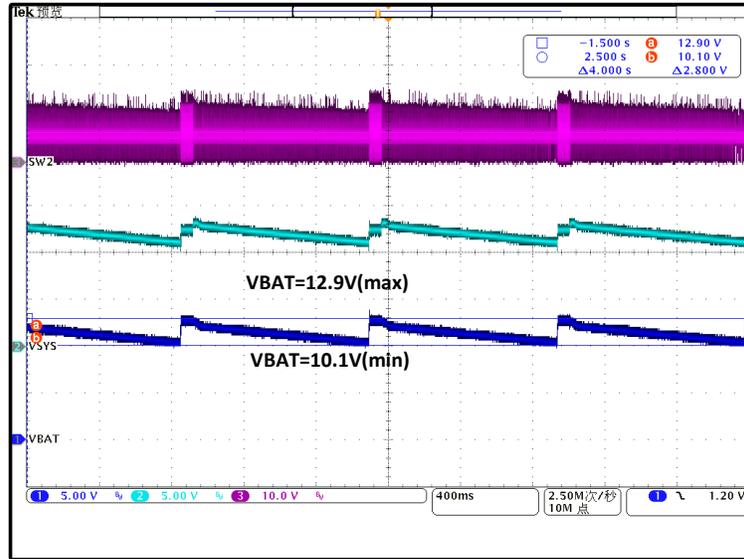


Figure 4. BAT 引脚增加 220uF 电容输出电压波形(电池串数配置: 3 串)

4 电池包移除及永久性失效检测方法

通过前面的实验结果我们已经证明只需要在 BQ25792 的 BAT 引脚增加足够的电容则可以实现 BAT 输出电压的抬升，从而解决输出电压不够高无法激活电池包的问题。但是对于保护芯片已经掉电关闭而永久性失效无法激活的电池包，芯片相当于持续处于无电池的运行状态。这种状态下 SYS 和 BAT 侧的输出电压是不稳定的，作为后续负载的供电电源，SYS 输出不稳定的电压在很多应用场景中是不可接受的。例如采用不稳定的系统电压进行供电的 BLDC 驱动会出现输出力矩不达标或者无法达到目标转速等问题。其实，充电功能被关闭后，无论电池是被移除还是已经永久性损坏，SYS 都会将输出调节为稳定的最小系统电压值。关闭充电功能可以通过将 /CE 引脚置高或者向寄存器控制位 REG_OF_BIT[5]: EN_CHG 写 0 来实现。Figure.5 展示了无电池条件下，关闭充电功能前后 BAT 和 SYS 引脚的输出电压波形。通过这一特性，只要我们在电池移除或者发生永久性失效后关闭充电功能，则可解决系统供电不稳定的问题。然而其中的难点在于如何才能准确判断和区分电池包移除及永久性失效的情况呢？

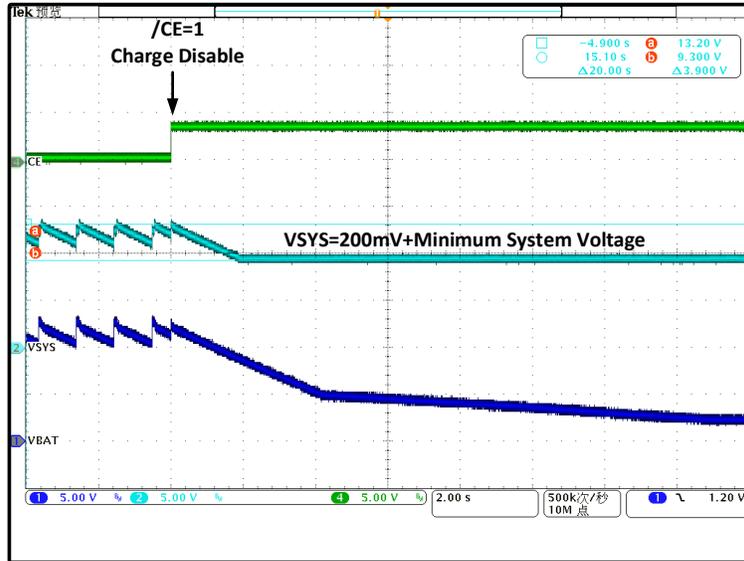


Figure 5. 关闭充电功能后 BAT 和 SYS 的输出电压波形

对于电池包被移除的情况，我们可以使用 TS 引脚的温度监控功能，来帮助我们实现自动的禁止充电功能。TS 引脚通过测量引脚上的电压变化来计算出放置于电池包中的 NCT 电阻的阻值变化以及对应的温度值。TS 分压电阻网络示意图如 Figure.6 所示。

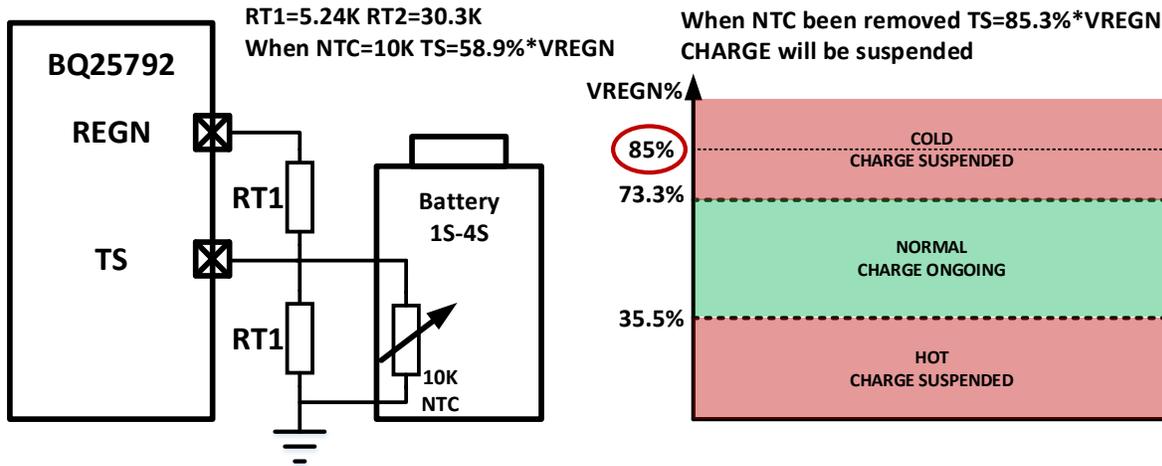


Figure 6. 基于外部 NTC 的智能电池温度监控及充电控制

对于锂离子电池，一般我们选择 0C~60C 作为正常工作范围，那么相对应 $RT1=5.24K$ ， $RT2=30.3K$ 。在这种情况下，处于正常工作范围内 TS 引脚的电压会落在 REGN 电压的 35.5%~73.3%之间，在这个电压范围内芯片会认为电池温度正常，允许进行充电。一旦 TS 管脚的电压超过这个范围，BQ25792 会认为电池温度出现异常立即禁止充电功能。而当电池包移除后，NTC 也被一并移除，该电阻缺失后 TS 引脚的电压为 85%的 REGN 电压，对于这种情况芯片会将其识别为温度异常而禁止充电。利用 BQ25792 的这一特性，当电池包带有 NTC 电阻并启用了 TS 温度监控功能时，在电池移除后芯片会自动禁止充电，从而保证 SYS 引脚能够输出稳定的电压保证系统的正常运行。然而这一方法对于没有加入 NTC 的电池包或者因深度过放导致永久性失效的电池包而言是不适用的，因此我们还需要找到一种方法去识别出永久性失效的电池包，并关闭充电功能，保证系统供电的稳定性。BQ25792 的本身是带有判定电池是否存在的标志位的，为寄存器 REG_1D_BIT[0]: VBAT_PRESENT_STAT，这个标志位的判断逻辑是通过比较 BAT 引脚的电压是否大于电池欠压阈值 VBAT_UVLO 来判定电池是否存在，其中 $VBAT_UVLO=2.6V$ 。也就是充电芯片通过检测 BAT 管脚的电压是否大于 2.6V 来判断电池是否存在。然而在充电功能使能的条件下，这个判断是无法实现的，因为即使电池不存在，BAT 管脚仍然会检测到来自功率变换器输出的电压。因此，使用该标志位判断电池是否移除或者发生永久性失效必须在充电关闭的条件下进行。然而，如前文所述为了保证过放电池的可靠激活，我们需要在 BAT 引脚上加入 220uF 的电容，该电容的存在导致即使关闭充电功能，BAT 外接电容需要超过 10S 的时间才能完成放电，我们必须等待电容彻底放电后才可能进行可靠地判定，因此我们需要找到一种方法来快速泄放 BAT 电容中的能量。BQ25792 的 BAT 引脚是具备放电功能，这一功能可以在电池包发生过压时对其进行放电，BQ25792 将这一功能的控制对用户进行了开放，可以通过 REG_OF_BIT[6]: FORCE_IBATDIS 位来使能，其默认值是处于关闭状态。通过将该位置 1 我们使能 BAT 引脚放电功能，BQ25792 内部对 BAT 管脚进行 30mA 的恒流放电可以将电容中的能量快速进行泄放。如 Figure.7 所示，使能 BAT 强制放电功能后，220uF 外接电容中的能量在大约 100ms 左右被完全释放，通过这一方法我们可以实现不受外接电容影响快速、准确的实现电池包移除或者电池包失效等情况的准确判断。

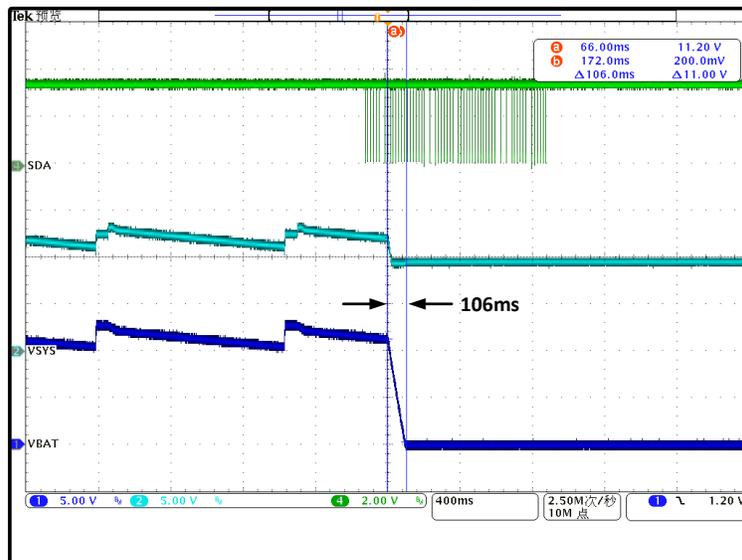


Figure 7. 开启强制放电后 BAT 引脚的波形

5 结论

电池包过度放电会触发保护芯片的过放保护，导致放电路径被切断，对外输出电压为 0V。进入过放保护后的电池，需要充电芯片提供足够高的激活电压才能推出过放保护状态。BQ25792 在电池过放条件下，其输出电压较低，可能无法达到某些保护芯片所要求的激活电压。为了解决这一问题，通过在 BAT 引脚增加额外的电容，可以使 BQ25792 即使在功率变换器关闭的情况下，也能保持较高的输出电压。实验证明，在 BAT 引脚增加 220uF 电容可以有效的提升 BQ25792 的输出电压最小值，从而满足激活电压要求。当电池处于移除或者永久性失效的状态下，如果不关闭充电功能，则无法保证给后续系统提供稳定的电压。本文利用 VBAT_PRESENT_STAT 标志位结合 BAT 引脚强制放电功能，实现了失效电池包的快速检测功能，解决了由于 BAT 引脚增加电容所导致的 BAT 电容放电时间过长导致的检测时间过程以及检测不准确等问题。

6 参考文献

1. *BQ25792 datasheet*
2. *BQ25792EVM User's Guide (SLUUCB5D)*

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 © 2022，德州仪器 (TI) 公司