

电量计 RSOC 更新机制及跳变场景分析

朱明武 (Mingmo Zhu)

TI

ABSTRACT

电量计的一个重要作用是计算电池电量百分比 RSOC。电池组装在产品系统后，对用户而言就是黑盒子，用户一般只看到电池 RSOC，因此电量计 RSOC 的表现非常重要，影响产品用户体验。本文从 RSOC 定义出发，分析 RSOC 影响因子、RSOC 更新机制、RSOC 平滑处理。以 [BQ40Z50-R2](#) 为例，介绍典型 RSOC 跳变场景，分析 Shutdown Mode/Ship Mode/ Reset 前后 RSOC 不相等的原因和优化方法，分析低温放电 RSOC 跳变的原因和优化方法。以帮助电量计开发者优化 RSOC 表现，提升用户体验。

Contents

1.	电量计 RSOC 更新机制	2
1.1.	RSOC 定义及影响因子	2
1.2.	RSOC 更新机制.....	2
1.3.	RSOC 平滑处理.....	3
2.	典型 RSOC 跳变场景分析	3
2.1.	Shutdown Mode/Ship Mode/ Reset 前后 RSOC 不相等.....	3
2.1.1.	现象.....	3
2.1.2.	原因.....	3
2.1.3.	优化方法.....	4
2.2.	低温放电 RSOC 跳变.....	4
2.2.1.	现象.....	4
2.2.2.	原因.....	5
2.2.3.	优化方法.....	5
3.	总结	7
	参考文献.....	8

Figures

Figure 1.	低温重载 RSOC 提前跳 0%案例	5
Figure 2.	低温重载 RSOC 提前跳 0%案例优化结果	7

1. 电量计 RSOC 更新机制

1.1. RSOC 定义及影响因子

电量百分比 RSOC (Relative State Of Charge)定义:

$$RSOC = \frac{RM}{FCC} \times 100\% \quad \text{公式(1)}$$

RSOC = 100% 定义为充满。RSOC = 0%定义为放空，即电池电压降到系统截止电压 **Terminate Voltage**。剩余容量(Remaining Capacity, RM)定义为从当前时刻开始放电到 **Terminate Voltage** 累积容量。满充容量(Full Charge Capacity, FCC) 定义为从充满开始放电到 **Terminate Voltage** 累积容量。

阻抗跟踪(Impedance Track™) 电量算法，基于锂电池电化学特性、动态学习跟踪电池阻抗、结合负载变化来仿真计算 RM, FCC, RSOC。仿真计算关系式如下:

$$FCC = Q_{start} + PassedCharge + RM \quad \text{公式(2)}$$

$$Q_{start} = (DOD_0 - DOD_{atEOC}) \times Q_{max} \quad \text{公式(3)}$$

$$RM = (DOD_{final} - DOD_{present}) \times Q_{max} \quad \text{公式(4)}$$

$$DOD_{present} = DOD_0 + \frac{PassedCharge}{Q_{max}} \quad \text{公式(5)}$$

$$DOD_{final} = f\{DOD_{present}; I; R; T; Q_{max}; OCV; TermVoltage\} \quad \text{公式(6)}$$

从上面关系式可知 RSOC 影响因子包括仿真负载 I 、电池阻抗 R 、温度 T 、 Q_{max} 、 OCV 、 $TermVoltage$ 、 DOD_0 、 DOD_{atEOC} 、 $PassedCharge$ 等。

1.2. RSOC 更新机制

从上面 RSOC 定义可知，每当 RM, FCC 重新仿真时 RSOC 会更新。总结 RSOC 更新机制如下:

- (1). 每当 Q_{max} 更新时 RM, FCC 重新仿真，RSOC 更新。 Q_{max} 更新一般发生在当 OCV 电压足够稳定或者静置超过 5 小时的时刻。
- (2). 每当 R_a 更新时 RM, FCC 重新仿真，RSOC 更新。 R_a 更新发生在放电过程中 15 个阻抗表格点。
- (3). 每当充电开始或放电开始时 RM, FCC 重新仿真，RSOC 更新。
- (4). 每当充电充满截止时 RM, FCC 重新仿真，RSOC 更新。
- (5). 静置过程中每 5 小时 RM, FCC 重新仿真，RSOC 更新。
- (6). 每当温度变化达到 5°C 时 RM, FCC 重新仿真，RSOC 更新。
- (7). 除了上述 RM, FCC 重新仿真节点之外，电量计上报的 `RemainingCapacity()`还会根据库仑积分每秒更新一次，`RemainingCapacity() = RM - Q_integrated`，`Q_integrated` 是从前面上一次

RM 仿真计算节点以来的库仑积分。最终电量计上报的电量百分比 $\text{RelativeStateOfCharge}() = \text{RemainingCapacity}() / \text{FullChargeCapacity}() \times 100\%$ 每秒更新。

1.3. RSOC 平滑处理

电池化学特性非常复杂，一致性也不同，电池内阻随着老化、放电深度、温度会有非线性变化，电量计需要预测未来负载变化、预测温度变化、预测电池阻抗，因此准确预测电池未来能放出多少电量（即剩余电量）是很难的。每当前面 RM, FCC 重新仿真节点时，RSOC 重新计算的结果可能与仿真之前不一致，即 RSOC 跳变。

有些跳变是锂电池化学特性造成的、是合理的，比如在低温下放电到 0% 的电池拿到常温后还能继续放电所以从低温拿到常温后 RSOC 会跳变，又比如在重载下放电到 0% 的电池停止放电后静置电压回弹、还可以轻载继续放电，所以这种情况 RSOC 也会跳变。即使这些 RSOC 跳变是合理的，但有时候用户不一定接受。所以往往需要电量计或主机做平滑处理。

在电量计里平滑后的数据叫 Smoothed 或者 Filtered，相对应的平滑前的数据叫 Unsmoothed 或者 Unfiltered。不管有没有设置开启平滑功能，电量计都会同时计算 Smoothed 和 Unsmoothed 的数据；当设置开启平滑功能 Smooth Enable，则标准 RelativeStateOfCharge 指令读到的就是 Smoothed RSOC；否则没有开启平滑的话就返回 Unsmoothed RSOC。

当充满($\text{TrueRemCap} \geq \text{True FCC}$)时 Smoothed RSOC 与 Unsmoothed RSOC 同步到 100%，当放空($\text{TrueRemCap} \leq 0$)时 Smoothed RSOC 与 Unsmoothed RSOC 同步到 0%。Smoothed RSOC 在充电状态不允许下降，在放电状态不允许上升；如果 $\text{Relax_Smooth_OK}=1$ ，则允许在静置状态平滑上升或平滑下降；如果 $\text{Relax_Jump_OK}=1$ ，则允许在静置状态跳变上升或跳变下降。

[BQ40Z50-R2](#) 系列电量计的平滑使能位是 DF>>Settings>> Configuration>> IT Gauging Configuration>> bit12[SMOOTH]。一般都建议开启平滑功能，以获得良好用户体验。

2. 典型 RSOC 跳变场景分析

2.1. Shutdown Mode/Ship Mode/ Reset 前后 RSOC 不相等

2.1.1. 现象

为了适应长时间运输需求，[BQ40Z50-R2](#) 等系列电量计提供运输模式 Shutdown Mode 或叫 Ship Mode；进入 Shutdown Mode 时 [BQ40Z50-R2](#) 处于关闭状态，充电 MOS 和放电 MOS 断开，使电池功耗最低。退出 Shutdown Mode 时 RSOC 与进入 Shutdown Mode 时 RSOC 不一定相等，大家称之 RSOC 跳变。

2.1.2. 原因

退出 Shutdown Mode 激活过程跟 Reset 一样，是一个全新的初始化过程。首先，电量计采集电池电压，如果此时电流为 0 则以此电压为开路电压 OCV；然后通过 CHEM ID 的电池 OCV 曲线，结合温度 T 条件， $\text{DOD}=\text{f}(\text{OCV}, \text{T})$ ，确定初始状态下放电深度起始点 DOD0；同时，定位此刻对应的阻抗 Ra 点，结合 Qmax，以电量计 data flash 记录的上一次放电负载 Avg I Last Run / Avg P Last Run 为仿真负载，按前面公式(2)~公式(6)仿真计算此时剩余容量 RM 和 RSOC。这就是退出 Shutdown Mode 激活和 Reset 时的 RSOC 来源。

而进入 Shutdown Mode 时的 RSOC 是从上一个初始状态经过充电或放电后实时计算的 RSOC，受到当时的电压、电流、温度和用于仿真计算的负载模型（Load Select / Load Mode）等因素影响。所以即使 Shutdown Mode 前后电池电压相同或接近，前后两个时刻的 RSOC 也不一定相同的。

此外，如果退出 Shutdown Mode 激活时电池电压处于平坦区，由于锂电池特性在此区间小小的电压偏移也会导致较大的 RSOC 不同。

2.1.3. 优化方法

Shutdown Mode 前后 RSOC 不一致对终端用户使用没有影响，在退出 Shutdown Mode 初始化后的使用过程中，RSOC 会更新校正；也不会影响电池运输存储时间，因为进入 Shutdown Mode 后芯片和 MOS 都关闭了没有增加额外耗电。

对于需要航空运输的电池，国际航空运输协会 (International Air Transport Association, IATA) 规定独立运输的锂离子电池货物的 RSOC 不得超过 30%。有可能出现 Shutdown Mode 前 $RSOC \leq 30\%$ 、但 Shutdown 激活后 $RSOC > 30\%$ 的情况。这就需要电量计的 IATA 功能来支持优化。[BQ40Z50-R2/R3](#) 等电量计具有 IATA 支持功能。它会管控 RSOC 要 $\leq 30\%$ 才允许进入 IATA Shutdown，同时记录进入 Shutdown 时的 RSOC。当退出 IATA Shutdown 激活时它会检查电芯电压、压差、温度等，若满足设定条件则会参考 Shutdown 前的 RSOC 来上报 RSOC。

对于非 IATA 要求的，如果是 Shutdown 后短时间内就会激活唤醒的，可以考虑以下几方面优化方案来缩小 Shutdown / Reset 前后 RSOC 变化：(1) Shutdown 之前电池已经 Golden Learning 成功，做过满充——静置——满放——静置循环，使得 RSOC 精度比较好；(2) 设置 Load Select = 0 (Avg I Last Run / Avg P Last Run)，使得 Shutdown / Reset 前后用来仿真 RSOC 的负载相同；(3) 等待电压充分稳定才发送指令进入 Shutdown Mode。

2.2. 低温放电 RSOC 跳变

2.2.1. 现象

锂电池低温特性更复杂，电量计低温放电 RSOC 跳变有可能发生。低温放电 RSOC 跳变主要出现这两种场景：

场景一：低温放电电压降到截止电压 RSOC 跳变到 0%。

场景二：低温放电电压没降到截止电压 RSOC 跳变到 0%。

下面举一个场景二的案例。案例使用电量计 [BQ40Z50-R2](#)，截止电压以单节电芯电压为判断依据，[CELL_TERM] = 1，Cell Term Voltage = 3000mV，在低温 5°C 下以该系统最大负载 1C (7A) 放电，发现电芯电压降到 3135mV 的时候 RSOC 就从 15% 跳到 0%，如图 1 所示。

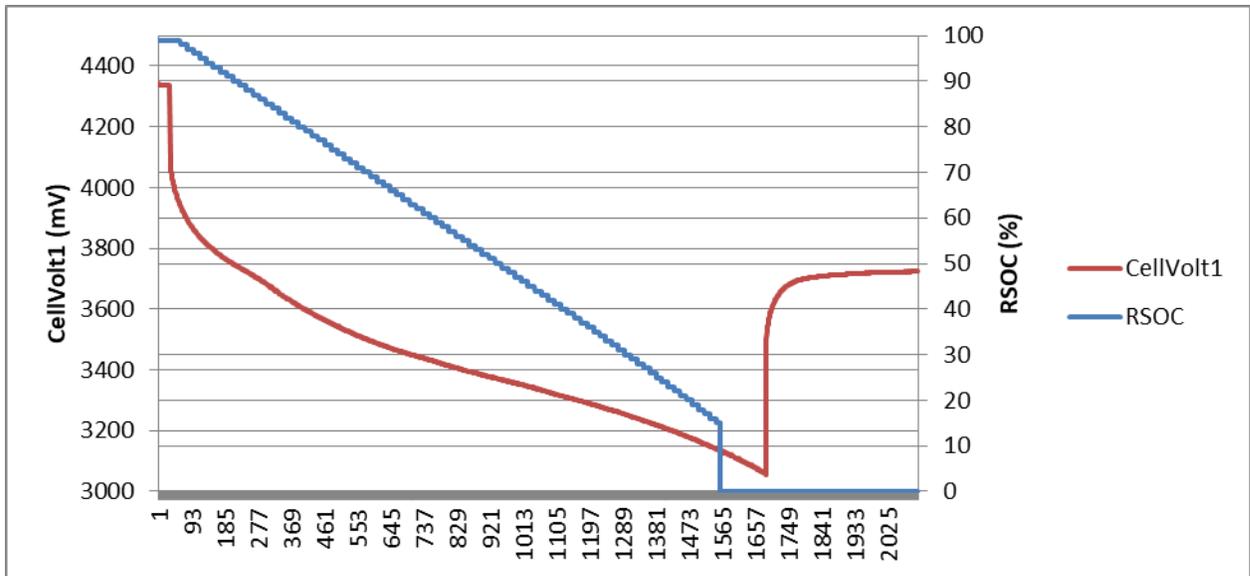


Figure 1. 低温重载 RSOC 提前跳 0%案例

2.2.2. 原因

这两种情形分别对应了 RSOC 跳 0%的两种机制：

第一种跳 0%机制：电池电压下降到截止电压 Term Voltage 以下（若 [BQ40Z50-R2 DF>>Settings>> Configuration>> IT Gauging Configuration>> bit9\[CELL_TERM\]=0](#)），或者任一节电芯电压下降到 Cell Term Voltage 以下（若 [BQ40Z50-R2 DF>>Settings>> Configuration>> IT Gauging Configuration>> bit9\[CELL_TERM\]=1](#)），则会强制 RSOC 为 0%。电池电压每 250ms 采一次，1 秒内 4 次平均后用来跟截止电压比较。一般来说低温大负载或脉冲负载，或者低温 FCC 偏大，则容易出现这种触发截止电压强制跳 0%的情形。

第二种跳 0%机制：电量计在仿真计算 RM 时停止仿真迭代的条件是仿真估算的电池电压降到截止电压以下，所以如果某次仿真第一次迭代时仿真估算的电压低于截止电压，那么电量计认为电池放不出电了，RM 报 0，RSOC 也报 0%。虽然此时实际电压还没到截止电压，但电量计认为按既定的负载再放电的话下一秒就会降到截止电压。如果用于仿真预估阻抗偏大或预估负载偏大，则容易出现这种 RSOC 提前跳变 0%的情形。

2.2.3. 优化方法

（一）优化一

低温放电 RSOC 这两种跳变的第一个优化方法是 GPCRB，作用是优化电量计低温阻抗模型和热模型。当用来仿真的低温阻抗偏小时，低温 RM 会偏大，容易出现第一种触发截止电压强制跳 0%的场景。当用来仿真的低温阻抗偏大时，低温 RM 会偏小，容易出现第二种提前跳 0%的场景。

GPCRB 的详细指南见[<Golden GG Maker and Resistance Temperature Compensation Optimizer>](#)，步骤如下：

- (1) 采集常温放电数据（全程记录时间、电压、电流、温度等数据，建议用 bqStudio 自动 log）

- a. 常温充满 ([FC]旗标置位)；
 - b. 静置 2 小时；
 - c. 按电池所在系统的典型负载电流进行恒流放电，放至截止电压；
 - d. 静置 5 小时。
- (2) 采集低温放电数据（全程记录时间、电压、电流、温度等数据，建议用 bqStudio 自动 log）
- a. 常温充满 ([FC]旗标置位)；
 - b. 静置 2 小时；
 - c. 把电芯放进低温温箱（按系统低温测试要求的温度），静置 1 小时；注意用纸盒之类物品罩住电芯，模拟电池在系统的状态，避免温箱冷风直吹电芯影响电池温升；
 - d. 按电池所在系统的典型负载电流或测试标准指定低温放电电流进行恒流放电，放至截止电压；
 - e. 静置 5 小时。
- (3) 按照前面 GPCRB 指南规定的格式整理常温数据、低温数据、GG 文件、配置文件上传到 TI 官网 [GPCRB](#) 工具，得到 GPCRB report。注意所有文件名要按指定命名。
- a. roomtemp.csv
 - b. lowtemp.csv
 - c. gg.csv // gg.csv 要求是未经过 golden learning 的（即 Ra table 为导入 CHEM ID 后默认的，Ra flag 为 0xFF55）
 - d. config.txt // config.txt 的数据列号以 0 为起始列号
- (4) 把 GPCRB report 的 CHEM ID 文件和 GG 文件导入电量计，验证，导出优化的 SREC 即可。
- a. chemdat12_IDxxxx //包含调整低温阻抗模型后的 CHEM ID 文件，在 bqStudio>>Chemistry>>Import from GPCRB file 窗口导入
 - b. gg_out.csv //重命名为 gg_out.gg.csv，导入前面 chemdat12 文件后导入 gg_out.gg.csv 文件，在 bqStudio>>Data memory>>Import 导入

（二）优化二

低温放电 RSOC 这两种跳变的第二个优化方法是微调电量计仿真参数，比如 RSOC_CONV, Pack Resistance, System Resistance, Term Voltage, Term V Hold Time, Current Threshold 等。

- RSOC_CONV，又称 fast scaling：以 [BQ40Z50-R2](#) 为例 DF>>Settings>> Configuration>> IT Gauging Configuration>> bit6[RSOC_CONV]。如果 RSOC_CONV 功能启动，有可能在放电末端导致用来仿真的阻抗偏大，则会导致仿真电压很快触发截止电压，从而出现 RM 偏小甚至跳 0。建议设置[RSOC_CONV]=0。

- Pack Resistance, System Resistance: 如果没有用 Turbo Mode 功能，则建议把 Pack Resistance 和 System Resistance 设为 0，这样可以避免用来仿真的阻抗偏大。
- Term Voltage, Term V Hold Time: 建议 Term Voltage 设在电压平坦区以后拐弯区以下并且尽可能低一些，比如锂离子电池设为 3000mV；Term V Hold Time 设置 2s 以上。
- Current Threshold: 电量计 data flash 参数配置里用 Dsg Current Threshold, Chg Current Threshold, Quit Current 来区别 Charge mode, Discharge mode 和 Relax mode。这三个 current threshold 不宜设太小。Dsg Current Threshold 设置在系统正常工作最小电流，不是系统待机电流，避免长时间待机小电流影响 average current (average since start of discharge) 变得很小，导致负载预估偏小。Quit Current 可设置在系统待机电流以上，最大不超过 C/20，比 Dsg Current Threshold 和 Chg Current Threshold 小即可。

经过两项优化后，前面低温重载放电还没到截止电压 RSOC 就从 15%跳到 0%的案例在相同测试条件下复测就不跳了，结果如图 2 所示。

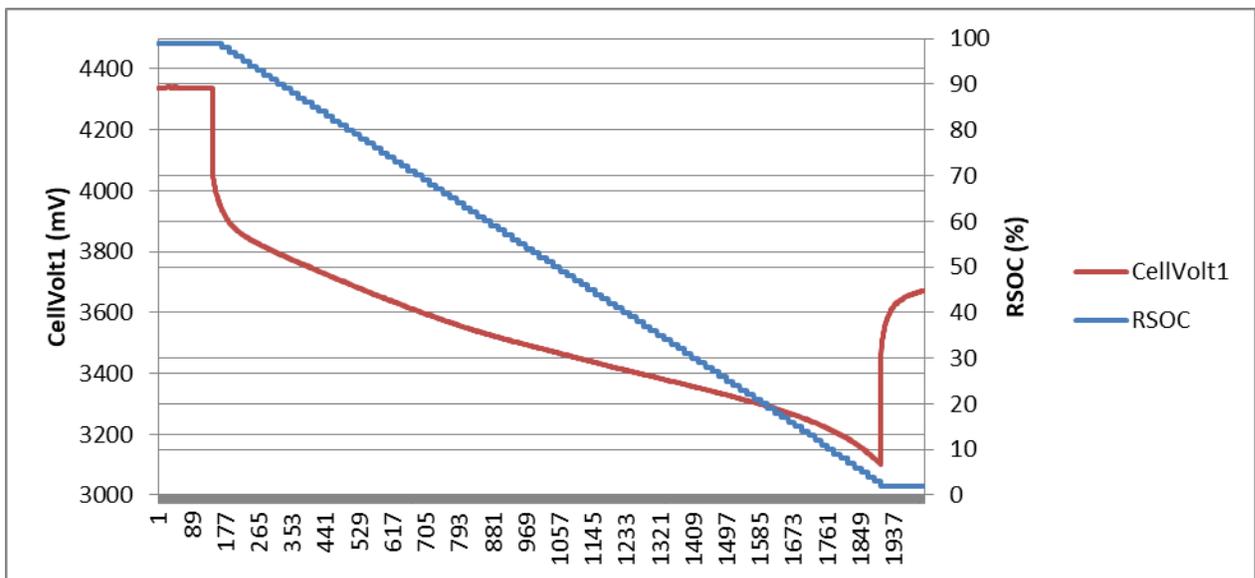


Figure 2. 低温重载 RSOC 提前跳 0%案例优化结果

3. 总结

本文从 RSOC 定义出发，分析了 RSOC 影响因子、RSOC 更新机制、RSOC 平滑处理。以 [BQ40Z50-R2](#) 为例，介绍了典型 RSOC 跳变场景，分析了 Shutdown Mode/Ship Mode/ Reset 前后 RSOC 不相等的原因和优化方法，分析了低温放电 RSOC 跳变的原因和优化方法。以帮助优化 RSOC 表现，提升用户体验。

参考文献

1. *Theory and Implementation of Impedance Track™ Battery Fuel-Gauging Algorithm in bq20zxx Product Family*: <http://www.ti.com/lit/an/slua364b/slua364b.pdf>
2. BQ40Z50-R2 Technical Reference Manual, <http://www.ti.com/lit/pdf/sloubk0>
3. [Golden GG Maker and Resistance Temperature Compensation Optimizer](#)
4. [GPCRB](#), <http://www.ti.com/tool/GPCRB>

重要声明和免责声明

TI 均以“原样”提供技术性及其可靠性数据（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，不保证其中不含任何瑕疵，且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、适合某特定用途或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

所述资源可供专业开发人员应用TI 产品进行设计使用。您将对以下行为独自承担全部责任：(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、安保或其他要求。所述资源如有变更，恕不另行通知。TI 对您使用所述资源的授权仅限于开发资源所涉及TI 产品的相关应用。除此之外不得复制或展示所述资源，也不提供其它TI 或任何第三方的知识产权授权许可。如因使用所述资源而产生任何索赔、赔偿、成本、损失及债务等，TI 对此概不负责，并且您须赔偿由此对TI 及其代表造成的损害。

TI 所提供产品均受TI 的销售条款 (<http://www.ti.com.cn/zh-cn/legal/termsofsale.html>) 以及ti.com.cn 上或随附TI 产品提供的其他可适用条款的约束。TI 提供所述资源并不扩展或以其他方式更改TI 针对TI 产品所发布的可适用的担保范围或担保免责声明。

邮寄地址：上海市浦东新区世纪大道 1568 号中建大厦 32 楼，邮政编码：200122
Copyright © 2020 德州仪器半导体技术（上海）有限公司