

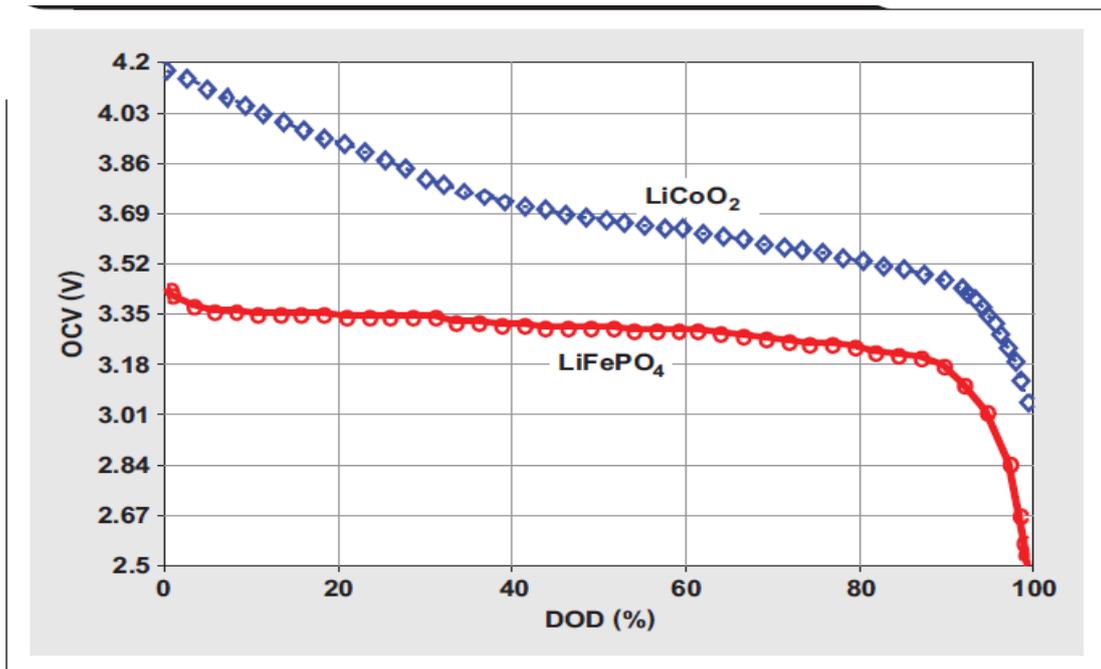
如何对浅放电应用中磷酸铁锂 (LiFePO₄) 电池使用的 TI 阻抗跟踪™ 电池电量计进行微调

作者: **Keith James Keller**, 德州仪器 (TI) 模拟现场应用

TI 的阻抗跟踪™ 电池电量计技术是一种功能强大的自适应算法, 其会记住电池特性随时间的变化情况。将这种算法与电池组具体的化学属性结合可以非常准确地知道电池的充电状态 (SOC), 从而延长电池组使用寿命。

然而, 更新电池总化学容量 (Q_{\max}) 相关信息要求具备某些条件。磷酸铁锂 (LiFePO₄) 电池的极端稳定电压状态下完成这项工作变得较为困难 (请参见图 1), 特别是如果无法对电池完全放电且让其休息数小时那就更加困难了。图 1 显示了典型开路电压 (OCV) 特性与钴酸锂 (LiCoO₂) 和磷酸铁锂 (LiFePO₄) 电池化学属性放电深度 (DOD) 的关系。本文主要讨论参考文献 1 和参考文献 2 的阻抗跟踪技术。

图 1 基于 DOD 的电池 OCV 测量



TI 建议所有磷酸铁锂电池都使用阻抗跟踪 3 (IT3) 算法。IT3 对早期阻抗跟踪算法的改进包括:

- 通过更好的温度补偿实现更佳的低温性能
- 更多滤波, 以防止出现 SOC 容量跳跃
- 更高的精度, 用于磷酸铁锂电池的非理想 OCV 读取
- 保守的剩余容量估算, 以及额外的负载选择配置

IT3 包括在 TI 的 bq20z4x、bq20z6x 和 bq27541-V200 电量监测计中（所列并非全部）。

Q_{max} 更新的典型条件

阻抗跟踪算法将 Q_{max} 定义为电池的总化学容量，其以毫安小时 (mAh) 计算。一次正确的 Q_{max} 更新，必须满足下列两个条件：

- 1、两个 OCV 测量必须在不合格电压范围以外进行，基于 TI 确定的电池化学身份 (ID) 编码。只能对一块闲置电池（没有进行数小时的充电或者放电）进行 OCV 测量。

参考文献 3 列出了一些不合格电压范围，其中一些显示在表 1 中。我们可以看到，就化学 ID 编码 100 而言，如果任何电池电压超出 3737mV 或者低于 3800mV 则不允许进行 OCV 测量。实际上，这就是 OCV 测量获得最佳精确度的“禁用”范围。虽然本文给出了 SOC 百分比，但电量计仅根据电压来确定不合格范围。

表 1 摘自参考文献 3，其根据 Q_{max} 更新的化学属性列出不合格的电压范围

Description	Chemical ID	Vqdis_min (mV)	Vqdis_max (mV)	SOC_min, %	SOC_max, %
LiCoO2/graphitized carbon (default)	100	3737	3800	26	54
Mixed Co/Ni/Mn cathode	101	3749	3796	28	51
Mixed Co/Mn cathode	102	3672	3696	6	14
LiCoO2/carbon 2	103	3737	3800	26	54
Mixed Co/Mn cathode 2	104	4031	4062	77	88
LiFePO4/carbon	404	3274	3351	34	93
LiFePO4/carbon	409	3193	3329	12	92

- 2、最小通过电荷量必须由电量计进行综合。默认情况下，其为总电池容量的 37%。为了进行浅放电 Q_{max} 更新，这一通过电荷百分比可以降低至 10%。这种降低的代价是 SOC 精确度的损失，但在其它无法更新 Q_{max} 的系统中是容许的。

既然我们理解了浅放电 Q_{max} 更新的要求，那么让我们来看一个数据闪存参数的例子，我们需要在一个更低容量电池组配置中对其进行修改。默认阻抗跟踪算法基于典型笔记本电脑电池组，该电池组拥有 2 个并联组，每组 3 节串联电池，即 3s2p 配置结构。每组有 2200-mAh 容量，因此总容量为 4400mAh。磷酸铁锂电池的容量约为其一半，因此如果以 3s1p 配置使用它们，则总电池组容量为 1100mAh。如果使用像这样的更小容量电池组，需要在 TI 的电量计评估软件中对具体的数据闪存参数进行微调，以获得最佳的性能。本文剩下部分将介绍这一过程。

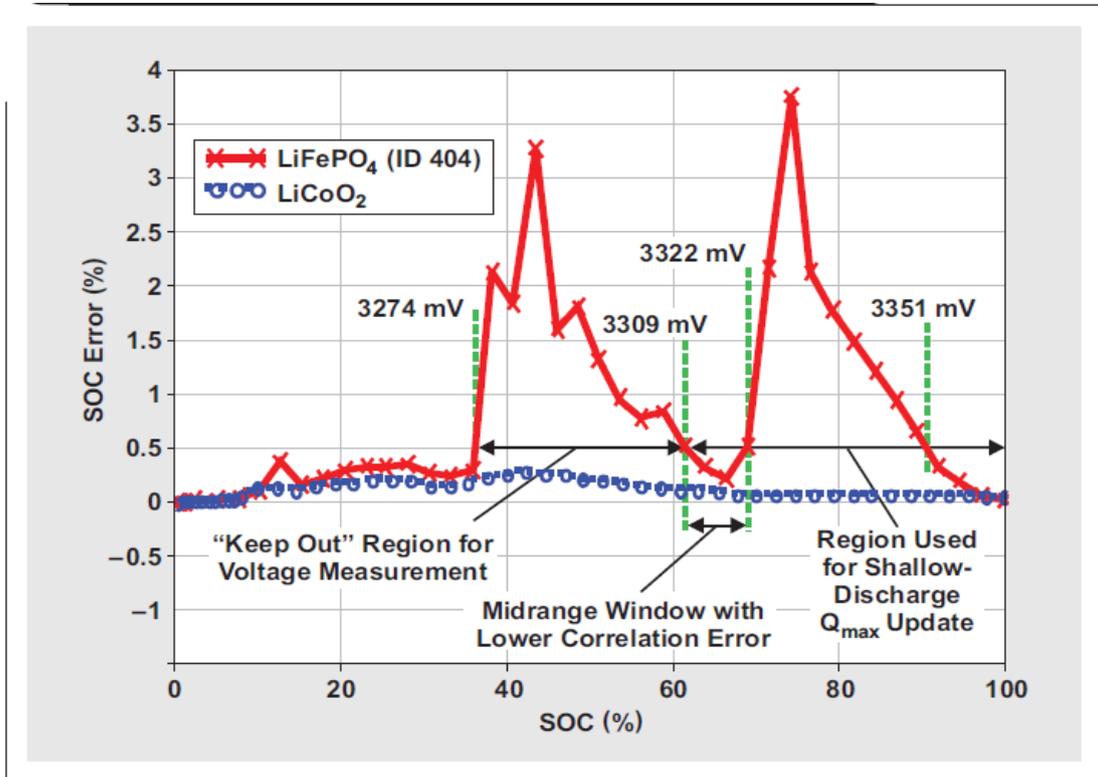
实例计算

来看下一个使用 A123 系统 TM1100-mAh 18650 磷酸铁锂/碳精棒电池的 3s1p 配置电池组。这种电池类型的 TI 化学 ID 编码为 404。这种电池将用于 50°C 左右正常温度的存储系统中。放电率为 1C，且一个 5-mΩ 检测电阻器用于电量计，目的是进行库仑计数。

如表 1 所示，化学 ID 404 的 OCV 测量的不合格电压范围为 3274mV（最小值，即 ~34% SOC）到 3351mV（最大值，即 ~93% SOC）。大多数磷酸铁锂电池都有非常宽的不合格电压范围（参见化学 ID 409 进行对比）。然而，根据具体的电池特性，为浅放电 Q_{max} 更新找出一个更高的最小不合格电压是可能的。化学 ID 为 404 时，将这一值升高至 3322mV 是可能的，从而允许 3309 到 3322 mV 的浅放电 Q_{max} 更新窗口（请参见图 2）。设计人员可以使用这种中间范围低误差窗口，实现数据闪存修改。由于仅能对高和低不合格电压范围进行设定，因此主系统必须保证在 3309mV 以下不会进行更低的 OCV 测量。（随着关联误差的增长，OCV 测量误差在 3274 和 3309mV 之间急剧增加。）虽然仅有一个 13-mV 窗口在更低 OCV 测量时起作用（3322 - 3309 mV = 13 mV），但其对应于一个 70% 到 64% 的 SOC 范围。

磷酸铁锂电池具有非常长的松弛时间，因此我们可以将数据闪存参数“OCV 等待时间”增加至 18000 秒（5 小时）。由于电池的正常工作温度得到提高，因此参数“Q 无效最大温度”应修改为 55°C。另外，“Qmax 最大时间”应修改为 21600 秒（6 小时）。

图 2 1-mV 电压误差的 SOC 关联误差



要将 Q_{\max} 通过电荷从 37% 降低至 10%，需要修改“DOD 最大容量误差”、“最大容量误差”和“ Q_{\max} 滤波器”，因为它们都会影响 OCV1 和 OCV2 测量之间的不合格时间。“ Q_{\max} 滤波器”是一个补偿因数，其根据通过电荷来改变 Q_{\max} 。

设置这些参数的目的是基于测得的通过电荷获得 1% 以下的“最大容量误差”，包括 ADC 最大补偿误差（“CC 静带”）。但是，需要对这些值进行一些修改，以允许浅放电 Q_{\max} 更新。

实例 1 Q_{\max} 更新超时期间

要获得 1000-mAh 电池 10-m Ω 检测电阻器 1% 以下的累积误差，以及硬件设置 10 μ V 固定值的“CC 静带”， Q_{\max} 更新的超时期间由下列情况决定：

10 μ V/10 m Ω = 1-mA 补偿电流。

1000-mAh 容量 \times 1% 允许误差 = 10-mAh 容量误差。

10-mAh 容量误差 / 1-mA 补偿电流 = 10 小时。

因此，从开始到结束，包括休息时间，仅有 10 小时可用于完成一次 Q_{\max} 更新。10 小时超时以后，一旦电量计进行其下一个正确 OCV 读取，计时器便会重新开始。

实例 2 数据闪存参数修改

在使用带有一个 5-m Ω 检测电阻器的 1100-mAh 电池设计方案中，可以使用相同方法计算得到 Q_{\max} 更新的超时期间：

10 μ V/5 m Ω = 2-mA 补偿电流。

1100 mAh \times 1% = 11 mAh。

11 mAh / 2-mA 补偿电流 = 5.5 小时。

这种情况下，需要放宽容量误差百分比，以增加 Q_{\max} 超时。将“最大容量误差”（从 1% 的默认值）修改为 3%，得到：

$$1.1 \text{ Ah} \times 3\% = 33 \text{ mAh}$$

其会增加 Q_{\max} 不合格时间到：

$$33 \text{ mAh} / 2\text{-mA} \text{ 容量误差} = 16.5 \text{ 小时。}$$

需要将“DOD 容量误差”设置为 2 倍“最大容量误差”，因此可以将其改为 6%（默认值为 2%）。

根据通过电荷的百分比，需要按比例减小“ Q_{\max} 滤波器”的默认值 96：

$$\text{“} Q_{\max} \text{ 滤波器”} = 96 / (37\% / 10\%) = 96 / 3.7 = 26$$

表 2 显示了电量计评估软件中典型的数据闪存参数，必须对其进行修改以实现浅放电 Q_{\max} 更新。这些特殊参数均为受保护（归为“隐藏”类），但可以由 TI

的应用人员解锁。本表格所用举例电池组为前面所述电池组，其为一种使用 A123 1100-mAh 18650 LiFePO4/碳精棒电池（化学 ID 为 404）的 3s1p 电池组。

表 2 根据系统使用情况可以由 TI 应用人员修改的一些受保护数据闪存参数

数据闪存参数	默认值	新值
Q _{max} 的最小 % 通过电荷	37%	10%
首个 Q _{max} 的最小 % 通过电荷	90%	保持默认值 90% ¹
Q 无效 MaxV	3351 mV (化学 ID 404 默认值)	保持化学 ID 404 默认值 3351 mV
Q 无效 MinV	3274 mV (化学 ID 404 默认值)	3322 mV
OCV 等待时间	1800 秒	18,000 秒
DOD 容量误差	2%	6%
Q _{max} 最大时间	18,000 秒	21,600 秒
最大容量误差	1.0%	3.0%
Q _{max} 滤波器	96	26
Q 无效最大 T	40.0°C	55.0°C
Q 无效最小 T	10.0°C	保持默认值 10.0°C ²

- 1、该参数在黄金影像 (golden image) 过程期间很重要。如果使用的是标准 4.2-V 锂离子电池，且仅将其充电至 4.1V 系统电平，则在电池充电至 4.2V 以后进行首次 Q_{max} 更新仍然必要，目的是满足 90% 容量变化的要求。根据电量计设定的化学 ID 编码，对规定电池容量即“设计容量”和估计 DOD 的容量变化进行开始和结束点检查。
- 2、计算 Q_{max} 时，宽范围温度变化会引起误差。在高或低温下正常工作的系统中，对该参数进行修改是必要的。

Q_{max} 更新事件

下列事件描述了实例 1 和 2 所述数据闪存参数改变以后，实现一次 Q_{max} 更新的一种实用方法。

- 1、电池电压位于图 2 所示低关联误差窗口内时应该开始一次 Q_{max} 更新。设计人员的自有算法可用于将电池放电/充电至这一范围内。
- 2、本实例中，为了进入该有效测量范围（化学 ID 为 404），所有电池电压都必须大于或者等于 3309mV，且小于或者等于 3322mV。如果常规放电期间电池电压恰好位于有效范围以外，则在 18000 秒设定“OCV 等待时间”以前必须开始另一个放电或者充电周期。如果 6 小时 10 分钟以后，所有电池电压均在 3309 到 3322mV 范围内，则进行了一次正确的 OCV 测量。
- 3、下一步是对电池完全放电。一旦电池充满（即 100% SOC），其在进行第二次 OCV 测量以前应该再休息 6 小时 10 分钟。之后，Q_{max} 值被更新。如果充电进行了约 2 小时，则超时期间至少需要 8 小时。由实例 2 中 16.5 小时超时期间的计算，我们知道时间绰绰有余，额外多出 8.5 小时的缓冲时间。
- 4、电量计处在开启模式下时向电量计发布一条 ResetCommand (0x41)，可以重置 OCV 计时器。

表 3 显示了使用举例电池组配置时如描述的那样循环操作电池所得到的结

果。

表 3 全周期和浅充电 Q_{max} 更新的结果

	NORMAL CHARGE CYCLE ¹	SHALLOW CHARGE CYCLE	
	UPDATED Q_{max} (mAh)	UPDATED Q_{max} (mAh)	RESTING VOLTAGE BEFORE CHARGING (mV)
Cell 0	1062	1062	3312
Cell 1	1066	1038	3310
Cell 2	1064	1063	3311
Pack	1062 (cell minimum)	1038 (cell minimum)	9933 (total)

¹从耗尽充电到充满

结论

TI 的阻抗跟踪技术是一种非常精确的算法，用于通过电池使用时间来确定电池 SOC。在一些磷酸铁锂电池应用中，利用一段时间的闲置来对电池进行完全放电是不可能的，因此研究一种 Q_{max} 更新的浅放电方法是必要的。本文介绍了实现一次浅放电 Q_{max} 更新需要考虑的因素和数据闪存编程配置。对这些参数的修改，必须由 TI 应用人员根据系统配置和要求批准之后才能进行。

参考文献

如欲了解本文的更多详情，请登录：www.ti.com/lit/litnumber（用下列 TI 文献编号代替 litnumber），下载 Acrobat® Reader® 文档。

文献名称 TI 文献编号

- 1、《bq20zxx 产品系列中阻抗跟踪™ 电池电量计算法原理与实施》，应用报. .slua364
- 2、《电池备份存储系统中电池电量计考虑因素》，作者：Keith James Keller，模拟应用期刊（2010 年第 1 季度）.....slyt364
- 3、chemistry_specific_Qmax_disqv_voltages_table.xls [在线]，网址：<http://www.ti.com/litv/zip/slua372r>

相关网址

power.ti.com

www.ti.com/sc/device/partnumber

用 BQ20Z40-R1 或 BQ27541-V200 代替 *partnumber*

重要声明

德州仪器 (TI) 及其下属子公司有权在不事先通知的情况下, 随时对所提供的产品和服务进行更正、修改、增强、改进或其它更改, 并有权随时中止提供任何产品和服务。客户在下订单前应获取最新的相关信息, 并验证这些信息是否完整且是最新的。所有产品的销售都遵循在订单确认时所提供的 TI 销售条款与条件。

TI 保证其所销售的硬件产品的性能符合 TI 标准保修的适用规范。仅在 TI 保修的范围内, 且 TI 认为有必要时才会使用测试或其它质量控制技术。除非政府做出了硬性规定, 否则没有必要对每种产品的所有参数进行测试。

TI 对应用帮助或客户产品设计不承担任何义务。客户应对其使用 TI 组件的产品和应用自行负责。为尽量减小与客户产品和应用相关的风险, 客户应提供充分的设计与操作安全措施。

TI 不对任何 TI 专利权、版权、屏蔽作品权或其它与使用了 TI 产品或服务的组合设备、机器、流程相关的 TI 知识产权中授予的直接或隐含权限作出任何保证或解释。TI 所发布的与第三方产品或服务有关的信息, 不能构成从 TI 获得使用这些产品或服务的许可、授权、或认可。使用此类信息可能需要获得第三方的专利权或其它知识产权方面的许可, 或是 TI 的专利权或其它知识产权方面的许可。

对于 TI 的数据手册或数据表, 仅在没有对内容进行任何篡改且带有相关授权、条件、限制和声明的情况下才允许进行复制。在复制信息的过程中对内容的篡改属于非法的、欺诈性商业行为。TI 对此类篡改过的文件不承担任何责任。

在转售 TI 产品或服务时, 如果存在对产品或服务参数的虚假陈述, 则会失去相关 TI 产品或服务的明示或暗示授权, 且这是非法的、欺诈性商业行为。TI 对此类虚假陈述不承担任何责任。

可访问以下 URL 地址以获取有关其它 TI 产品和应用解决方案的信息:

产品

放大器	http://www.ti.com.cn/amplifiers
数据转换器	http://www.ti.com.cn/dataconverters
DSP	http://www.ti.com.cn/dsp
接口	http://www.ti.com.cn/interface
逻辑	http://www.ti.com.cn/logic
电源管理	http://www.ti.com.cn/power
微控制器	http://www.ti.com.cn/microcontrollers

应用

音频	http://www.ti.com.cn/audio
汽车	http://www.ti.com.cn/automotive
宽带	http://www.ti.com.cn/broadband
数字控制	http://www.ti.com.cn/control
光纤网络	http://www.ti.com.cn/opticalnetwork
安全	http://www.ti.com.cn/security
电话	http://www.ti.com.cn/telecom
视频与成像	http://www.ti.com.cn/video
无线	http://www.ti.com.cn/wireless

邮寄地址: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2006, Texas Instruments Incorporated