

Hugo Zhang, Dominik Hartl

摘要

TI 监测计产品因其卓越的性能而广泛应用于个人电子应用和工业应用，例如智能手机、笔记本、可穿戴设备、无人机、扫地机器人、电动自行车等。应用于智能手机中的 TI 监测计随着应用场景变得越来越复杂，也面临越来越多的新问题。我们需要对监测计的参数进行微调，以实现出色的性能。本应用手册以智能手机电池包中的 BQ27546-G1 为例，介绍了如何对监测计的参数进行微调并实现出色的性能。

内容

1 引言.....	2
2 SOC 误差的来源.....	2
2.1 电压测量引起的 SOC 误差.....	2
2.2 电流测量引起的 SOC 误差.....	2
3 Impedance Track 算法的自校正机制.....	2
4 新应用场景如何影响自校正机制.....	3
5 $dV/dt < 1 \mu V/s$ 的条件不满足.....	4
6 对监测计参数进行微调.....	4
6.1 增大电流阈值.....	4
6.2 不满足 $Current() < Quit Current$ 时放宽时间限制.....	4
6.3 放宽 dV/dt 条件.....	5
7 测试结果.....	5
8 总结.....	5
9 参考文献.....	6

插图清单

图 4-1. 监测计工作模式.....	3
图 4-2. 手机处于空闲状态时的功耗.....	3
图 7-1. SOC 从 9% 跳至 0%.....	5

表格清单

表 6-1. 电流阈值.....	4
表 6-2. 放宽时间限制.....	4
表 6-3. 放宽 dV/dt 条件.....	5

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 引言

随着智能手机中所用新技术（如快充技术、5G 技术等）的快速进步，应用场景越来越复杂。对于快充技术，充电终止电流要高得多，这意味着传统的有效充电终止在许多充电和放电周期中都无法得到满足。对于 5G 技术，即使在手机处于空闲状态（屏幕关闭）的情况下，功耗也会变高，并且动态性更强。

这会导致 SOC（充电状态）累积错误，也可能导致错误无法清除。最后导致 SOC 跳变问题。症状是即使 SOC 仍然很高，手机也可能突然关闭。这会带来非常糟糕的用户体验。我们需要对监测计的参数进行微调，以适应这种变化的要求。

2 SOC 误差的来源

2.1 电压测量引起的 SOC 误差

当监测计的 Impedance Track 算法为 POR、复位或满足某些特定条件时，监测计会读取 OCV（开路电压）并找到初始 DOD 点 DOD0，然后计算初始 RM（剩余容量）、FCC（完全充电容量）、SOC。如果读取的 OCV 不准确，这将导致监测计计算出的初始 DOD 点 DOD0 不准确，导致初始 SOC 不准确。

大多数 TI 监测计器件都需要在每个器件上进行电压校准，以实现最佳电压精度。如果未执行电压校准或执行有误，这可能导致电压测量不准确，更详细地说是 OCV 不准确，最终是 SOC 不准确。

还有一些其他情况，当电池电压不够稳定时，监测计会 POR 或复位，这也会导致监测计读取不准确的初始 OCV，最终读取不准确的 SOC。

2.2 电流测量引起的 SOC 误差

大多数 TI 监测计器件都需要在每个 PCM 上进行电流校准，以实现最佳电流精度。如果未执行电流校准或执行有误，则可能导致电流测量不准确，然后是库仑计数不准确，最终导致 SOC 不准确。

另一个因素是电流感测电阻的温度漂移。在 50W 快充智能手机中，峰值充电电流可高达 12A。但智能手机的典型放电电流为数百毫安。充电方向和放电方向上电流幅度的这种巨大差异将导致电流感测电阻上的温度存在很大差异。

例如，如果温度差 Δt 为 20°C，使用 100PPM/°C 的感测电阻，充电方向会产生 +0.2% 的误差（与放电方向相比）。这意味着在每个循环中，监测计将在充电方向上额外累积 +0.2% 的容量。如果无法清除，此误差就会累积。随着循环次数的增加，累积的误差会导致 SOC 出现较大的误差。

3 Impedance Track 算法的自校正机制

TI Impedance Track 算法具有内置的自校正机制。一旦监测计处于休息模式，它就会等待，直到获取 OCV 读数，这发生在：

1. Current() < Quit Current 后 5 小时
2. 或者满足 $dV/dt < 1 \mu V/s$ 的条件。

一旦获得 OCV 读数，监测计即会清除累积电荷（名为 PassedCharge），并重新计算 DOD0，然后是 RM、FCC、SOC。这将清除之前的所有错误。因此，即使之前有错误，在获取 OCV 读数之后，监测计也会变得准确。

4 新应用场景如何影响自校正机制

如前所述，若要让自校正机制发生，首要条件是监测计必须处于休息模式。

监测计配置为在充电方向电流 $< \text{Quit Current}$ 时进入休息模式，并持续相应的时间；或当放电方向电流 $> -\text{Quit Current}$ 时进入休息模式，并持续相应的时间。图 4-1 显示了监测计如何确定休息/充电/放电模式。

如果电流 $> -\text{DSG Current Threshold}$ ，监测计将退出休息模式并进入放电模式。

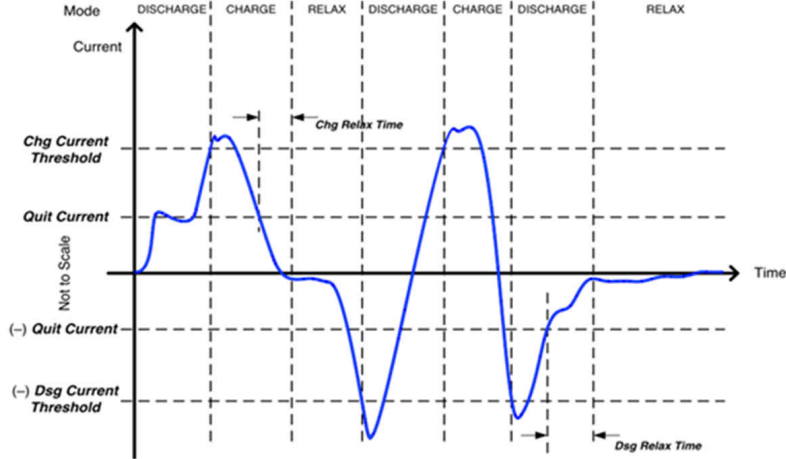


图 4-1. 监测计工作模式

图 4-2 显示了 5G 智能手机在空闲状态下的功耗。基本电流约为 10mA，一些尖峰可高达 130mA。这个幅度可能 $> -\text{DSG Current Threshold}$ 并使监测计在 5 小时内退出休息模式。

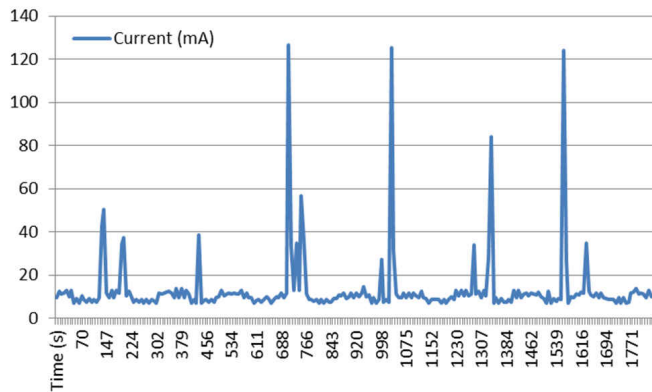


图 4-2. 手机处于空闲状态时的功耗

5 $dV/dt < 1 \mu V/s$ 的条件不满足

一般而言，如果没有采用快速充电技术，将一个空电池组充满可能需要 4~5 个小时。因此，大多数用户将不得不连接适配器并整晚为手机充电。在这种情况下，在充满电后，充电器会为系统供电。并且没有电流流入或流出电池组。这是一个非常稳定的状态。所以自校正机制发生的可能性很大。

但借助快充技术，将空电池组充满电仅需 30 分钟，甚至 15 分钟。这改变了用户的充电习惯。有些用户不会选择整晚连接适配器来给手机充电，因为他们只需在醒来后连接适配器 30 分钟，就可以使用手机一整天。在这种情况下，没有创建方便 OCV 读取的非常稳定的条件。

从图 4-2 也可以看出，即使手机处于空闲状态，电流也是非常动态的。这会导致电压不稳定，从而导致不满足 $dV/dt < 1 \mu V/s$ 的条件。

6 对监测计参数进行微调

我们已经讨论了自校正机制，以及可能影响自校正机制条件的两种情形。在本节中，基于上述分析，我们将讨论如何对参数进行微调以覆盖这些情况并提高性能。

基本思路是利用用户入睡时的夜间场景。每位用户每天都会遇到这种情况。在这种情况下，手机整晚都处于空闲状态。我们预计监测计读取 OCV 的可能性很高。

最好的情况是连接适配器并使电池组一整晚都处于充电状态。如上所述，这为监测计读取 OCV 提供了一个非常稳定的条件。

但我们还需要考虑没有整晚连接适配器的情况。为了让监测计有很大可能读取 OCV，我们可以通过对参数进行微调来放宽 OCV 读取的条件。

6.1 增大电流阈值

实现 OCV 读数的主要条件是监测计必须处于休息模式。我们可以对电流阈值的参数进行微调，让监测计在手机处于空闲状态时更有可能保持在休息模式。

主要思路是让监测计更容易进入休息模式，更难退出休息模式，我们可以：

1. 增大 **Quit Current** 并缩短 **Dsg Relax Time**。例如，**Quit Current** 的默认值为 40mA。我们可以将其增大到 100mA。**Dsg Relax Time** 的默认值为 60S，我们可以将其更改为 1S。这样，当手机处于空闲状态时，监测计更容易进入休息模式。
2. 增大 **Dsg Current Threshold**。例如，**Dsg Current Threshold** 的默认值为 60mA。我们可以将其增大到 260mA。这样，当手机处于空闲状态时，监测计更难以退出休息模式。

表 6-1. 电流阈值

* 场序：类名称	子类名称	参数名称	默认值	更新值
Gas Gauging	Current Thresholds	Dsg Current Threshold	60	260
Gas Gauging	Current Thresholds	Chg Current Threshold	75	130
Gas Gauging	Current Thresholds	Quit Current	40	100
Gas Gauging	Current Thresholds	Dsg Relax Time	60	1
Gas Gauging	Current Thresholds	Chg Relax Time	60	1

6.2 不满足 $Current() < Quit Current$ 时放宽时间限制

从 $Current() < Quit Current$ 开始需要 5 小时。我们也可以将这个时间从 5 小时缩短到 2 或 3 小时。这有助于增大手机处于空闲状态时读取 OCV 的可能性。

表 6-2. 放宽时间限制

* 场序：类名称	子类名称	参数名称	默认值	更新值
Gas Gauging	IT Cfg	Qmax Max Time	18000	7200

6.3 放宽 dV/dt 条件

若要读取 OCV，需满足的标称默认 dV/dt 条件为 $< 1 \mu\text{V/s}$ 。我们可以放宽这个条件，以增大手机处于空闲状态时读取 OCV 的可能性。对应的参数是 Max V Delta。在本例中，我们将其增加 5 倍。

表 6-3. 放宽 dV/dt 条件

* 场序：类名称	子类名称	参数名称	默认值	更新值
Gas Gauging	IT Cfg	Max V Delta	10	50

7 测试结果

我们发现，使用 BQ27546-G1 的其中一款中国顶级智能手机品牌出现了许多 SOC 跳变问题。图 7-1 是主机中的一段日志数据，它显示了 SOC 的大幅跳跃：从 9% 到 0%。

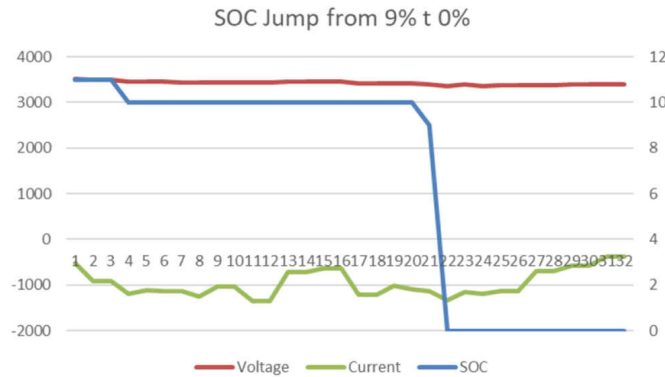


图 7-1. SOC 从 9% 跳至 0%

有时候用户会选择退回手机。所以我们可以拿到手机（和电池包）做进一步的分析，并找到根本原因。但在大多数情况下，我们无法拿到手机，并且找不到根本原因。在不知道根本错误原因的情况下，我们仍然需要解决问题。所以我们提出了这个解决方案。

但是在我们应用了这个解决方案，并且在已实际使用的手机上更改了相关参数之后，这种 SOC 跳变问题大大减少。这证明该解决方案确实解决了 SOC 跳变问题。

我们也应该明白，我们正在放宽 OCV 读数的条件，以提高读取 OCV 的可能性。这样可以清除累积的误差，避免出现 SOC 跳变问题。但需要进行权衡的一点是 OCV 读数的准确性。在这种情况下，当手机整晚处于空闲状态时，OCV 读数的准确性仍然相关。

8 总结

本应用手册介绍了自校正机制、自校正机制的两个条件、可能影响自校正机制条件的两个场景，以及如何微调参数以涵盖这些情况并提升性能。该解决方案已应用于中国四大智能手机品牌中的两个。

9 参考文献

- 德州仪器 (TI), [BQ27546-G1](#) 技术参考手册。
- 德州仪器 (TI), [放电终止 SOC 跳变消除应用报告](#)。
- 德州仪器 (TI), [Impedance Track 电池电量监测算法的理论及实现应用报告](#)。

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