

BQ27546-G1 在过放和过充场景下的考虑

张楚涛 Hugo Zhang

TI 电量计产品技术支持

摘要

阻抗跟踪算法(Impedance Track)是目前 TI 电量计里最常用的一种算法。阻抗跟踪算法以其出色的性能，在手机，笔记本，穿戴式设备，工业类应用的电池包里被广泛应用来进行容量计算。TI 单节电量计在手机上应用越来越广泛。在手机实际使用过程中，电池包可能会出现过放（OverDischarged）或者过充（OverCharged）的情况。电量计的参数配置需要特别考虑这些情况。本文先简单介绍 TI 的阻抗跟踪算法的基本原理。并以 BQ27546-G1 为例，详细介绍了过放和过充的场景，以及相应的处理办法。

目录

1, 阻抗跟踪算法简介.....	2
2, BQ27546-G1 在过放场景下的考虑.....	3
2.1, 电量计放空的标准和过放的定义.....	3
2.2, BQ27546-G1 在过放场景下的处理.....	4
3, BQ27546-G1 在过充场景下的考虑.....	4
3.1, 电量计充满的标准和过充的定义.....	4
3.2, BQ27546-G1 在过充场景下的处理.....	5
4, 实际测试数据.....	5
5, 总结.....	8
参考文档.....	8

图

图1: 阻抗跟踪算法框图.....	2
图2: 常温放空, 低温充满的过放场景.....	3
图3: 常温充满, 低温放电的过充场景.....	5
图4: 常温放空时的 DODFinal (25°C)	6
图5: 低温放空时的 DODFinal (0°C)	6
图6: 常温放空低温充电的数据.....	7
图7: 常温放空低温充电的图形.....	7

1, 阻抗跟踪算法简介

下面是对阻抗跟踪算法(Impedance Track)基本原理的简单介绍。

目前，其他的电量算法包括有电压法，和库伦计。电压法的优点是简单，在空载且电压很稳定时，可以比较准确的估算电池的剩余容量等。库伦计的优点是在带载时可以提供较准确的容量计算。而阻抗跟踪算法结合了电压法和库伦计各自的优点。在带载时，主要依靠库伦计来进行容量计算。在空载且电压很稳定时，又可以通过读取开路电压来修正库伦计的累计误差。从而实现在空载和带载情况下，都可以提供较准确的容量计算。

阻抗跟踪算法使用下面三种数据进行电量计算：（1），实际测量的物理量，包括电压，电流和温度；（2），相关配置参数，包括充满条件和放空条件的设定等。这些参数都是存放在电量计的 data flash 里；（3），电芯的化学特性，包括电芯的开路曲线，电芯的内阻 R_a ，理论最大容量 Q_{max} 等。最终计算出电池当前的剩余容量 RM ，满充容量 FCC ，荷电状态 SOC ，放电深度 DOD ，以及更新的电芯内阻 R_a ，更新的理论最大容量 Q_{max} 等。可以参考如下的框图。

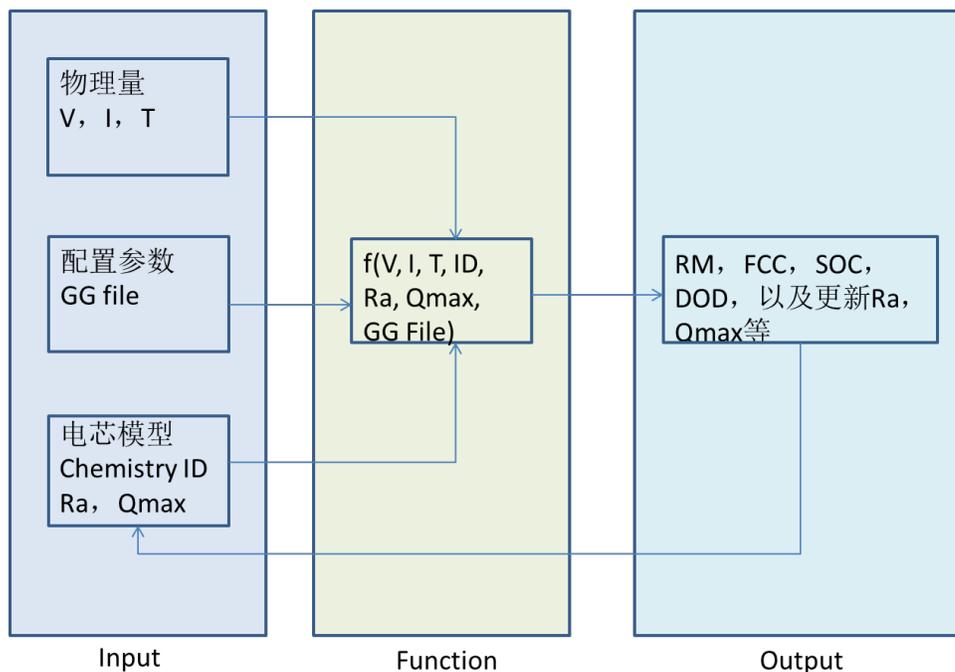


图 1: 阻抗跟踪算法框图

2, BQ27546-G1 在过放场景下的考虑

2.1, 电量计放空的标准和过放的定义

下面的讨论会用到一下电量计相关的术语，这里先做简单介绍：

DOD—Depth of Discharge, 放电深度

DOD0—初始放电深度

DODFinal—放空时的放电深度

DODPresent—当前的的放电深度

DODatEOC—充满时的放电深度

Qmax—理论最大容量

TI 电量计判断电池包放空的标准是：当前电压小于设定的 **Terminate Voltage**，持续时间超过设定的 **Terminate Voltage Valid Time**。当满足上述条件后，电量计会认为电池已经放空，SOC 会报 0%。

如果在放空后，继续放电，那此时放出的容量，电量计认为是过放的容量。在手机应用上，一般 SOC 到 0%后就会关机，不会继续放电。但下面一种场景，也会导致电量计认为过放。

当电池包在常温，如 25 度下放空，此时 DODPresent 与电量计根据电流，内阻，温度等算得的 DODFinal (25°C)一致。常温放电带载的电压曲线如下图棕色曲线。在此状态下，如果电池包的温度下降到 0 度，这时候电量计根据电流，内阻，温度等重新计算和仿真的低温放电带载的电压曲线如下图绿色曲线，认为此时低温下放空时的放电深度为下图的 DODFinal (0°C)。在 DODPresent 和 DODFinal (0°C)之间的那部分电量，即为电量计认为的过放的电量 Qod。

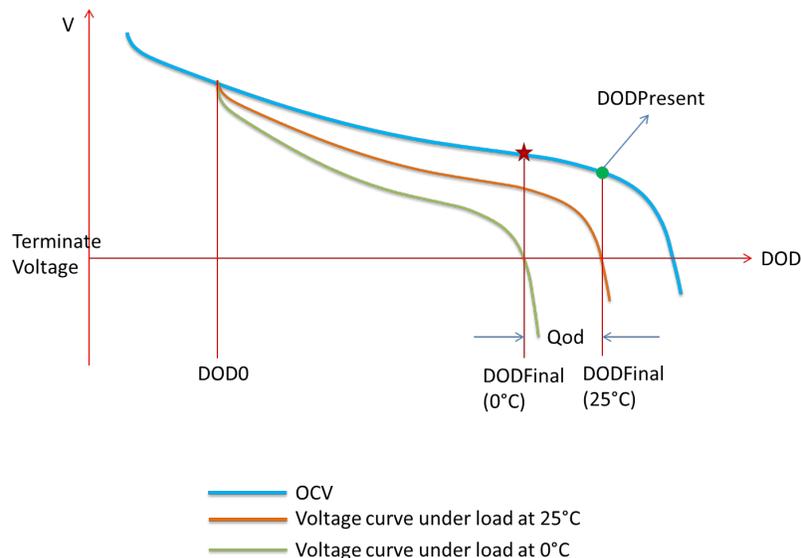


图 2: 常温放空，低温充满的过放场景

2.2, BQ27546-G1 在过放场景下的处理

在过放状态下（还是以上面的例子即 25 度下放空，然后温度下降到 0 度），如果开始充电，电量计会先把过放的那部分电量 Q_{od} 补回来，即 $DOD_{Present}$ 达到 $DOD_{Final}(0^{\circ}C)$ 后， RM/SOC 才能开始上升。在开始充电后，而 $DOD_{Present}$ 还没有达到 $DOD_{Final}(0^{\circ}C)$ 之前，电量计认为此时的电池放不出电量的。实际上，如果此时以一定的电流进行放电，那电压会马上掉到 $Terminate\ Voltage$ 以下。

如果过放的电量较大，那会看到充电了较长时间， RM/SOC 还是为 0 的情况。这会影响手机用户的体验。针对这种情况，BQ27546-G1 专门做了相应的处理。在 $Data\ Flash$ 里， $Pack\ Configuration$ 里增加 $SOCHoldOvrDsg$ bit。当 $SOCHoldOvrDsg$ bit 为 0 时，BQ27546-G1 对过放时平滑前和平滑后的 RM/SOC 的处理如前所述。当 $SOCHoldOvrDsg$ bit 为 1 时，在过放后开始充电，BQ27546-G1 会先让平滑后的 RM/SOC 上升，而平滑后的 RM/SOC 与平滑前的 RM/SOC 之间的差异，则会在后续的充电/放电过程中逐渐收敛并趋向一致。

3, BQ27546-G1 在过充场景下的考虑

3.1, 电量计充满的标准和过充的定义

TI 电量计判断电池包充满的标准是：（1），电池电压超过设定的电压，即 $Voltage > Charging\ Voltage - Taper\ Voltage$ ；（2），在两个 40 秒时间窗口内，充电电流持续小于设定的 $Taper\ Current$ ；（3）在每个 40 秒时间窗口内，累积充进去的电量超过设定的 $Min\ Taper\ Capacity$ 。当满足上述条件后，电量计会认为电池已经充满， SOC 会报 100%。

如果在充满后，继续充电，那此时充进去的容量，电量计会认为是过充的容量。在手机应用上，一般会设成充电器的截至充电电流比电量计充满的电流略低一点。这会引起轻微的过充。但下面一种场景，也会导致电量计认为过充。

当电池包在常温，如 25 度下充满，此时 $DOD_{Present}$ 与电量计根据电流，内阻，温度等算得的 $DOD_{atEOC}(25^{\circ}C)$ 一致。常温充电的电压曲线如下图棕色曲线。在此状态下，如果电池包的温度下降到 0 度，这时候电量计根据电流，内阻，温度等计算和仿真的低温充电的电压曲线如下图绿色曲线，认为此时低温下充满时的放电深度为下图的 $DOD_{atEOC}(0^{\circ}C)$ 。在 $DOD_{Present}$ 和 $DOD_{atEOC}(0^{\circ}C)$ 之间的那部分电量，即为电量计认为的过充的电量 Q_{oc} 。

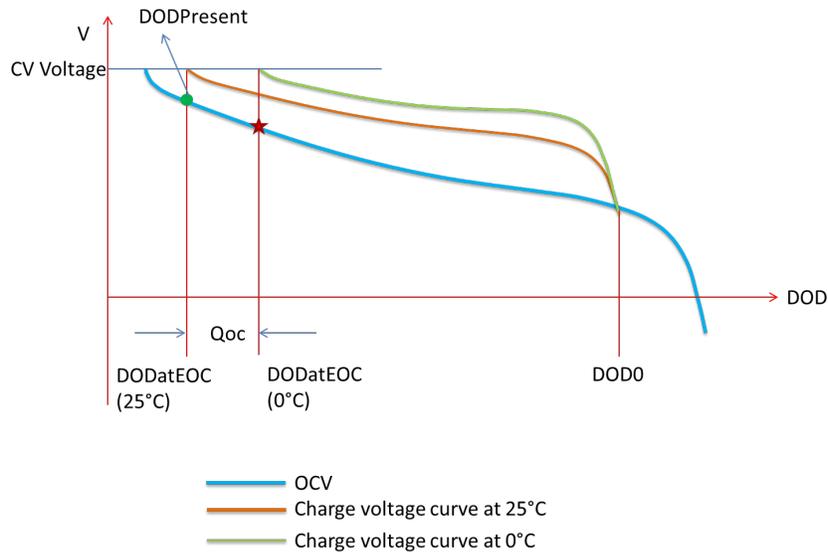


图 3: 常温充满，低温放电的过充场景

3.2, BQ27546-G1 在过充场景下的处理

在过充状态下（还是以上面的例子即常温下充满，然后温度下降到 0 度），如果开始放电，电量计会把过充的那部分电量先放出来，即 DODPresent 达到 DODatEOC (0°C)后，RM/SOC 才能开始下降。在开始放电后，而 DODPresent 还没有达到 DODatEOC (0°C)之前，电量计认为此时的电池是充不进去电量的。

如果过充的电量较大，那会看到手机用了较长时间，RM/SOC 还是保持在 100%的情况。针对这种情况，BQ27546-G1 也专门做了相应的处理。在 Data Flash 里，Pack Configuration 里增加 SOCHoldOvrChg bit。当 SOCHoldOvrChg bit 为 0 时，对过充时平滑前和平滑后的 RM/SOC 的处理如前所述。当 SOCHoldOvrChg bit 为 1 时，在过充后开始放电，BQ27546-G1 会先让平滑后的 RM/SOC 下降，而平滑后的 RM/SOC 与平滑前的 RM/SOC 之间的差异，则会在后续的充电/放电过程中逐渐收敛并趋向一致。

这里还需要补充一点，TI 电量计的 SOC 计算是采用进一法。即当过充的那部分电量已经放出来，RM 刚开始下降时，SOC 还是会显示 100%。直到 RM/FCC 等于或小于 99.0%之后，SOC 才会显示 99%。

4, 实际测试数据

下面以过放的实际测试数据来进一步说明 BQ27546-G1 在过放场景下的处理。

常温 25 度下用 0.2C 放到 3.4V，从 log 数据可得 DODFinal (25°C)=15903。低温 0 度下用 0.2C 放到 3.4V，从 log 数据可得 DODFinal (0°C)=13834。常温 DODFinal (25°C)和低温 DODFinal (0°C)的准确性通过常温和低温放电时 SOC 的精度得到确认。此测试中的 Qmax 为 3903mAh。

当常温 25 度 0.2C 放到 3.4V 时，DODPresent 与 DODFinal (25°C)一致，即为 15903。在这种条件下，如果温度从 25 度变成 0 度，DODFinal 变成 DODFinal (0°C)，即为 13834。而 DODPresent 还是 15903。所以电量计认为的过放的电量是 3903mAh* (15903-13834) /16384=493mAh。

在此条件下，用 0.2C 电流对电池进行充电，实际充进去 3697mAh-3216mAh=481mAh 电量之后，剩余容量 RM 才开始增加。即理论计算值 493mAh 和实际测试值 481mAh 非常接近。其中的误差主要是因为温度略有差异引起的。

ElapsedTime	Temperature	Voltage	AvgCurrent	StateofCharge	DodFinal
85356.324	29	3404	-761	1	15903
85357.284	29	3403	-761	1	15903
85358.256	29	3403	-761	1	15903
85360.598	29	3402	-762	1	15903
85361.559	29	3401	-761	1	15903
85362.536	29	3401	-761	1	15903
85364.871	29	3399	-761	0	15903
85365.835	29	3399	-761	0	15903
85366.802	29	3398	-761	0	15903
85369.147	29	3397	-761	0	15903

图 4：常温放空时的 DODFinal (25°C)

ElapsedTime	Temperature	Voltage	AvgCurrent	StateofCharge	DodFinal
35137.219	6.4	3403	-762	1	13834
35141.219	6.4	3403	-762	1	13834
35145.219	6.4	3402	-763	1	13834
35149.219	6.4	3402	-762	1	13834
35153.219	6.4	3401	-762	1	13834
35157.219	6.5	3401	-762	1	13834
35161.219	6.4	3400	-762	0	13834
35165.219	6.4	3400	-762	0	13834
35169.235	6.5	3400	-762	0	13834
35173.219	6.5	3399	-762	0	13834

图 5：低温放空时的 DODFinal (0°C)

ElapsedTime	Temperature	Voltage	AvgCurrent	StateofCharge	PassedCharge	Unfiltered RM
1.75	-1.1	3495	777	0	3697	0
1.78	-1.1	3495	775	0	3695	0
...
...
2189.91	-0.1	3990	774	0	3219	0
2195.36	-0.1	3990	775	0	3218	0
2200.79	-0.1	3990	775	0	3217	0
2205.83	-0.1	3990	774	1	3216	1
2211.05	-0.1	3990	775	1	3215	2
2216.19	-0.1	3991	774	1	3214	3

图 6: 常温放空低温充电的数据

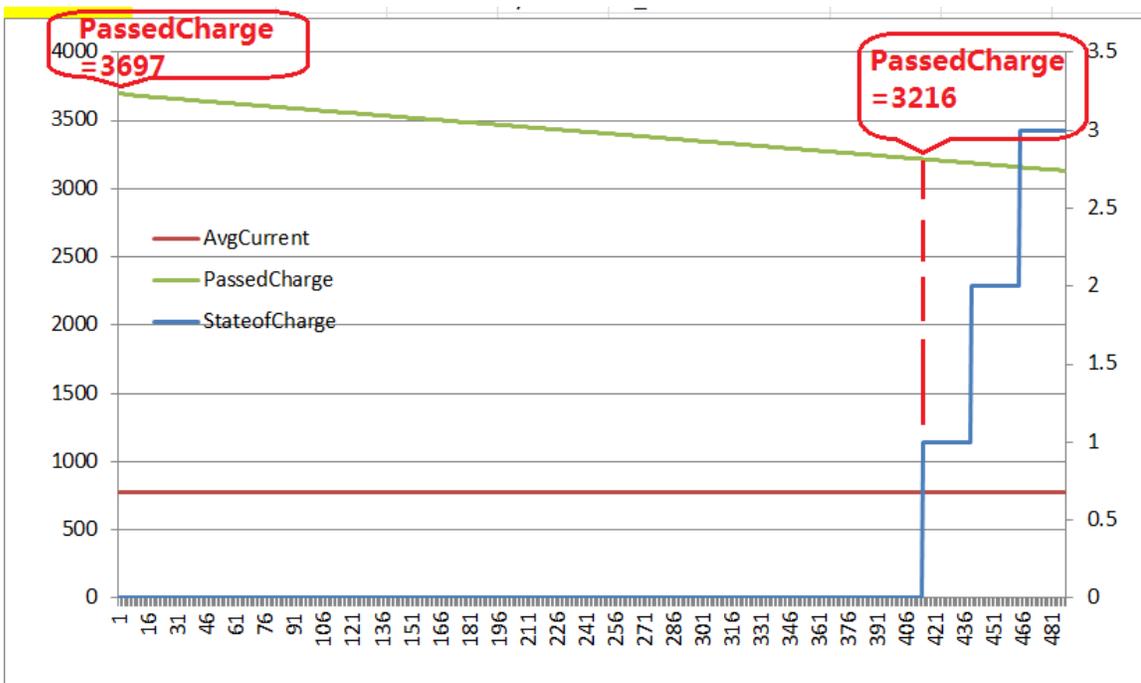


图 7: 常温放空低温充电的图形

5, 总结

本文结合实际项目的经验，介绍了 TI 电量计在过放和过充场景的考虑，和相应的处理办法。并以实际测试数据进一步说明。本文所介绍的方法，已成功应用于国内主流手机厂家的大规模的批量生产。

参考文档

bq27546-G1 Technical Reference Manual, <http://www.ti.com/lit/pdf/sluub74>

Theory and Implementation of Impedance Track Battery Fuel-Gauging Algorithm,
<http://www.ti.com/lit/pdf/slua450>

重要声明和免责声明

TI 均以“原样”提供技术性 & 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](http://www.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 © 2018 德州仪器半导体技术（上海）有限公司