

Dillen Chen

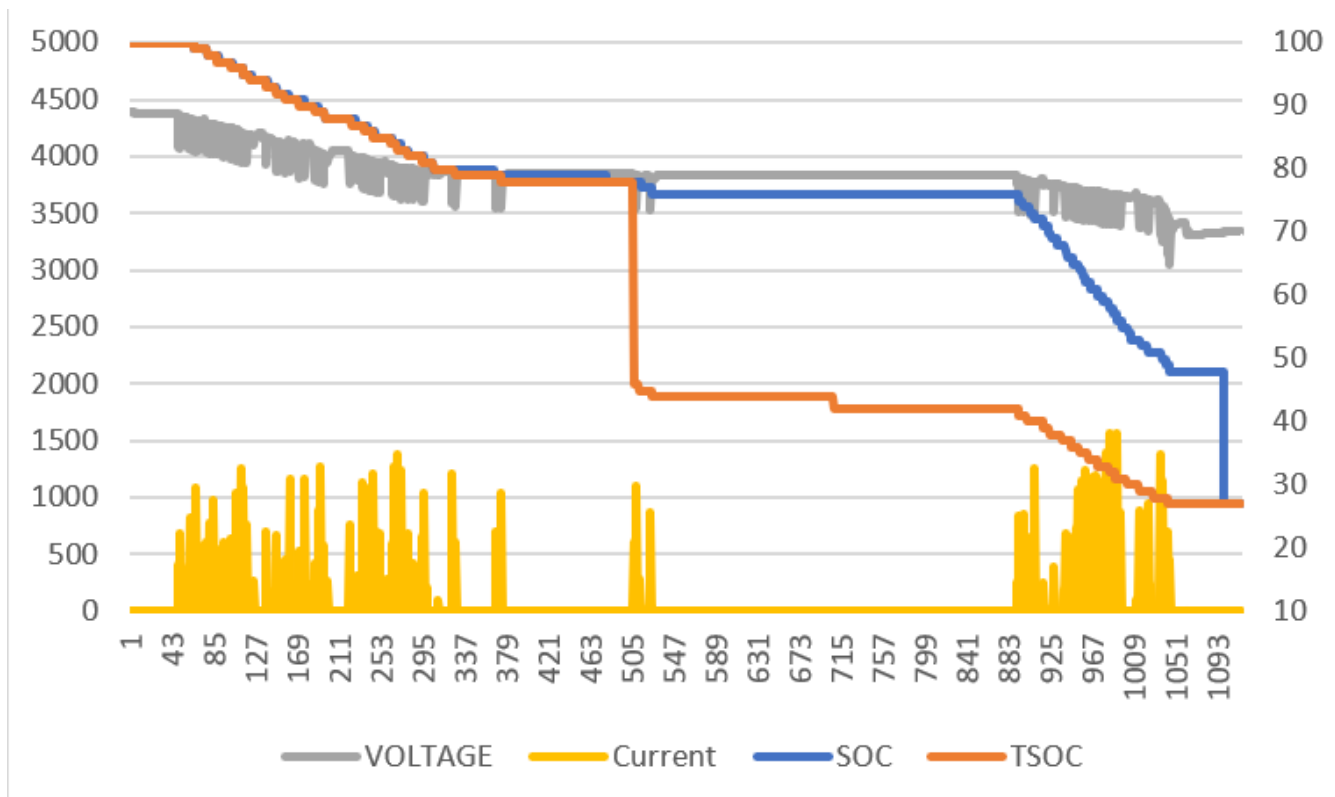
摘要:

传统电子烟会在加热体回路串联 MOS 管并施加高频开关控制，对发热体功率/温度的精准控制，从而加热烟油/烟支形成可吸食的气溶胶,这种场景中负载表现为周期性脉冲电流。同时，由于电子烟电池保护板尺寸受限，通常会采用系统端低成本电量计方案。以上两点会影响到电量计 SOC 准确性，本文以 BQ27426 为例，总结电子烟中会遇到的常见问题以及解决方案。

1 调整 Load Select/ Mode

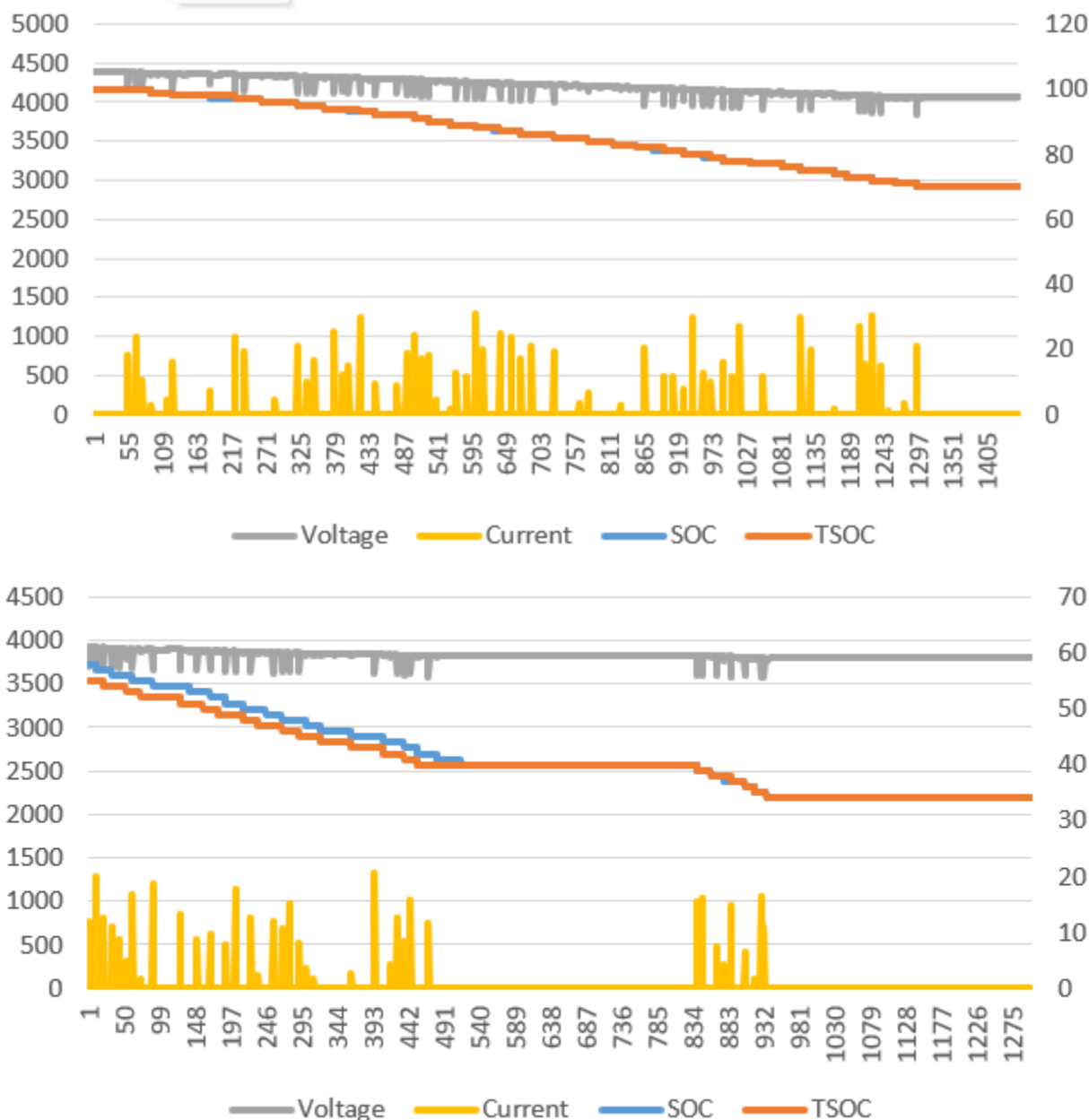
IT 算法基于放电模拟。FCC 和 RM(SOC)取决于负载和温度，而电量计无法预先"知晓"这些变量，因此算法需要进行预测。预测机制主要分为两种基本类型：(1)基于历史行为的预测：电量计通过记录放电过程中的平均功率和电流，以此预测未来放电容量。(2)基于固定值的预测：即采用用户预设的放电速率。

像电子烟这种极端动态的使用场景，第一种预测方式可能会失效。下面这个案例展示默认负载配置 0x81 下的 SOC 表现。测试前已经完成了 Chem ID 定制，基本配置(Design Capacity/Energy, Terminate Voltage and Taper Rate)以及 Learning Cycle。



在这个案例中，电量计计算的平均值被小电流阶段干扰，导致其基于偏低的负载进行了预测，进而引发 SOC 跳变。如果已知负载将保持较高且稳定的电流，则建议直接基于这个已知的高负载值进行容量预测，此时主导预测的是高负载电流，而非微小的残余电流。

将负载模型 Load Select/Mode 更改为 0x86，User Rate-mW 配置为加热控制的恒定功率(此案例配置为-6500)，优化后的 SOC 表现如下，不会出现跳变现象。

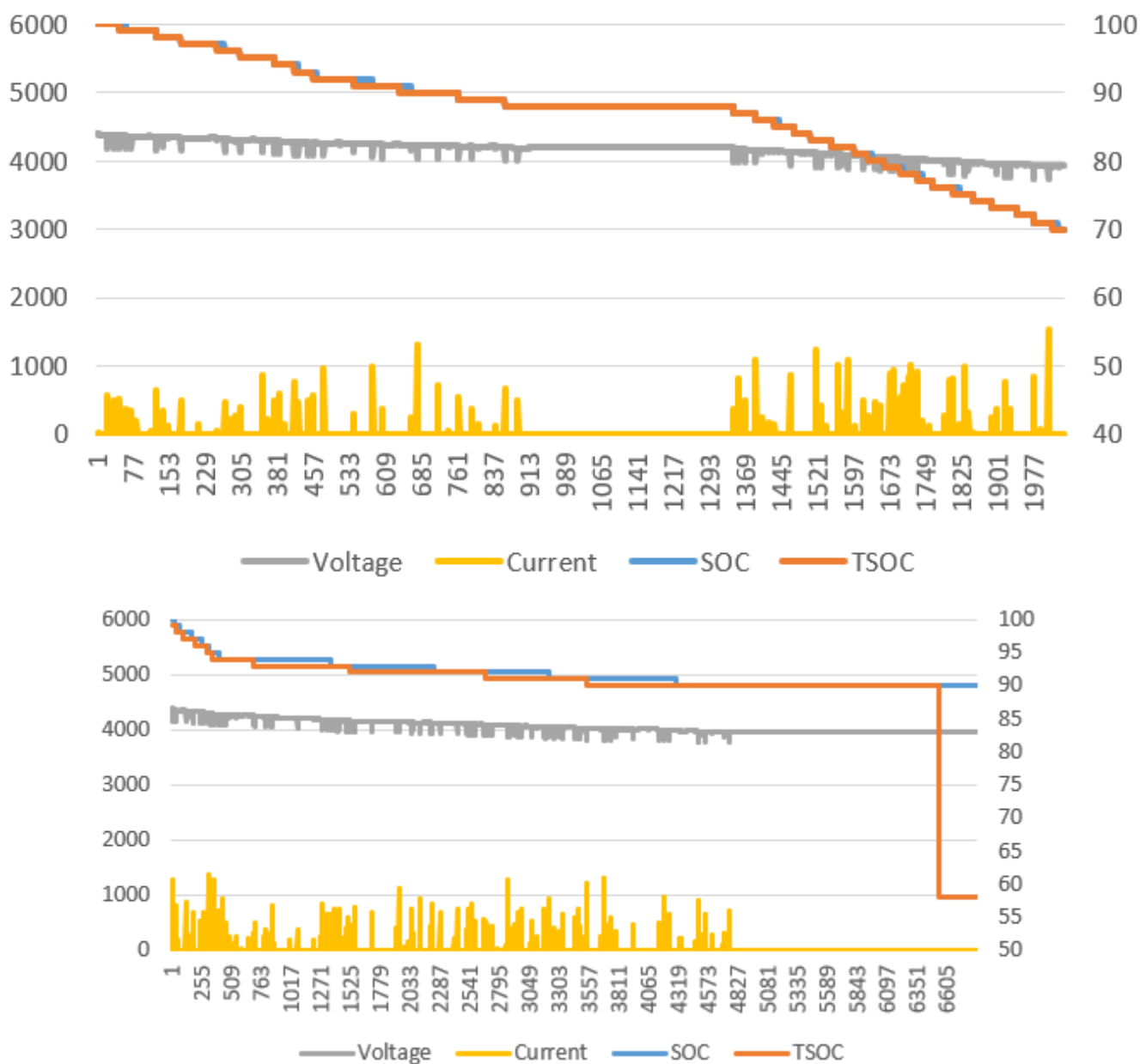


2 整睡眠模式

BQ27426 检测到平均电流超过设置 Sleep Current 阈值后会退出休眠模式，同时，如果检测到瞬时电流大于硬件比较器阈值后也会被提前唤醒。在多数场景中电量计不会频繁睡眠/唤醒。在电子烟应用中，用户通常抽一口烟后会等待几秒钟再抽下一口，因此加热电路间歇工作，电流会在几毫安和几安之间交替，这导致电量计频繁睡眠/唤醒，这个过程中 SOC 可能会出现跳变问题。

下面这个案例左图是模拟用户 5 秒抽一口的连续使用过程，SOC 表现正常，中途停止一段时间后重新抽吸，SOC 也还是正常下降。

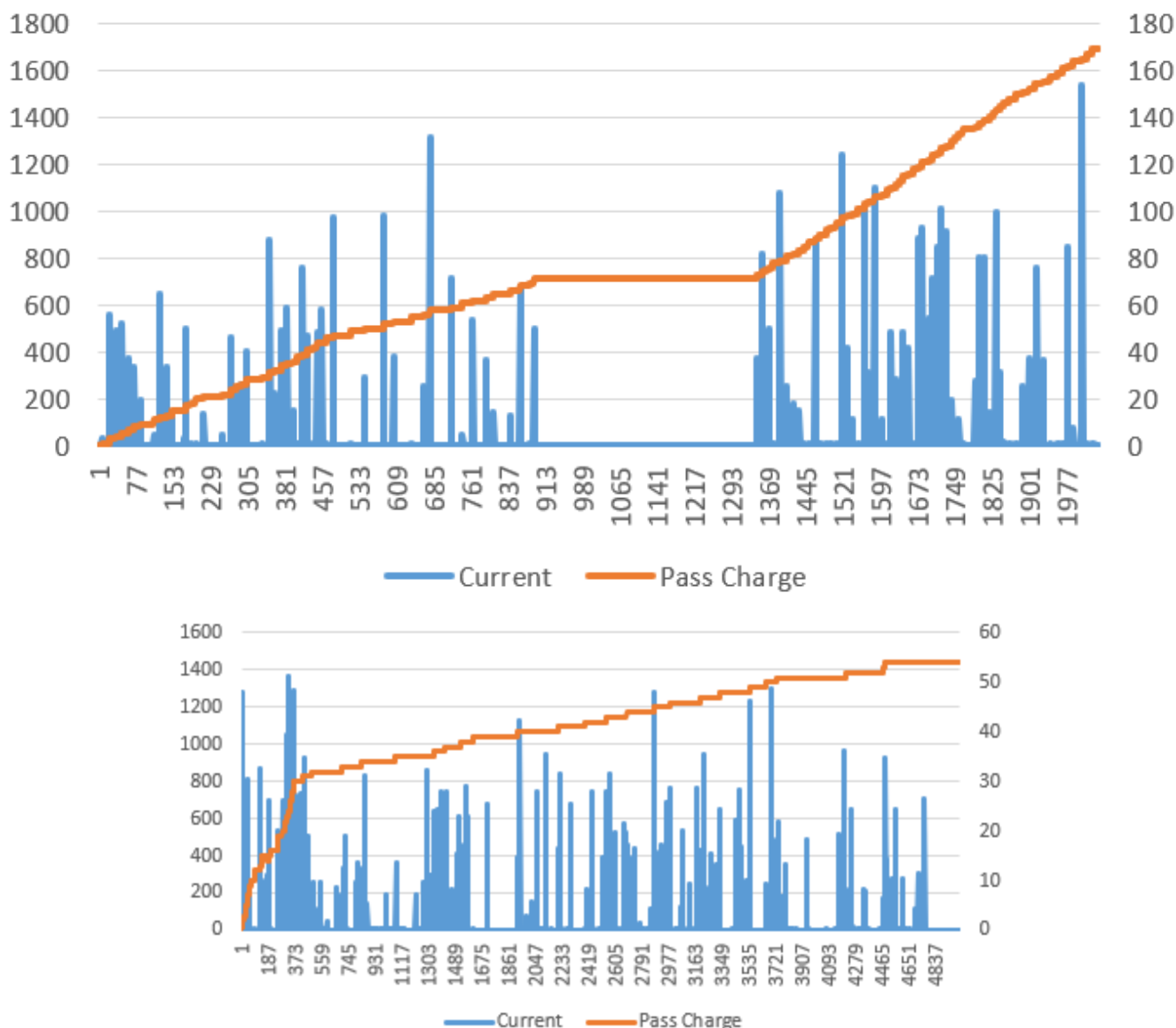
右图是模拟用户 2 秒抽一口，抽吸更频繁，这代表加热电路会更频繁工作，脉冲电流会更密集。当用户结束使用后，发现 SOC 出现了跳变。



从下方 LOG 中看到，跳变发生时电量计处于静置状态，是由于温度变化触发了重新仿真，更新了 SOC。

Time	SOC	TSOC	Voltage	Current	Temperature	TRM	TFCC	FRM	FFCC	Qmax	DOD0	DAE	Control Status	Flags
17:32:12.087	90	90	3964	0	25	498	559	500	558	590	192	48	0x009A	0x0188
17:32:14.087	90	90	3964	0	25	498	559	500	558	590	6592	48	0x009A	0x0188
17:32:16.088	90	58	3964	0	26	322	558	500	558	590	6592	48	0x009A	0x0188

电量计不会连续运行仿真。在不仿真时，电量计是基于库仑积分来调整剩余容量的。只有在触发了既定条件后才会重新仿真，仿真前后任何突变都会导致 SOC 跳变。该案例放电过程的库仑积分如下图，左图对应 5 秒抽吸，右图对应 2 秒抽吸，2 秒抽吸的库仑积分数值偏小。

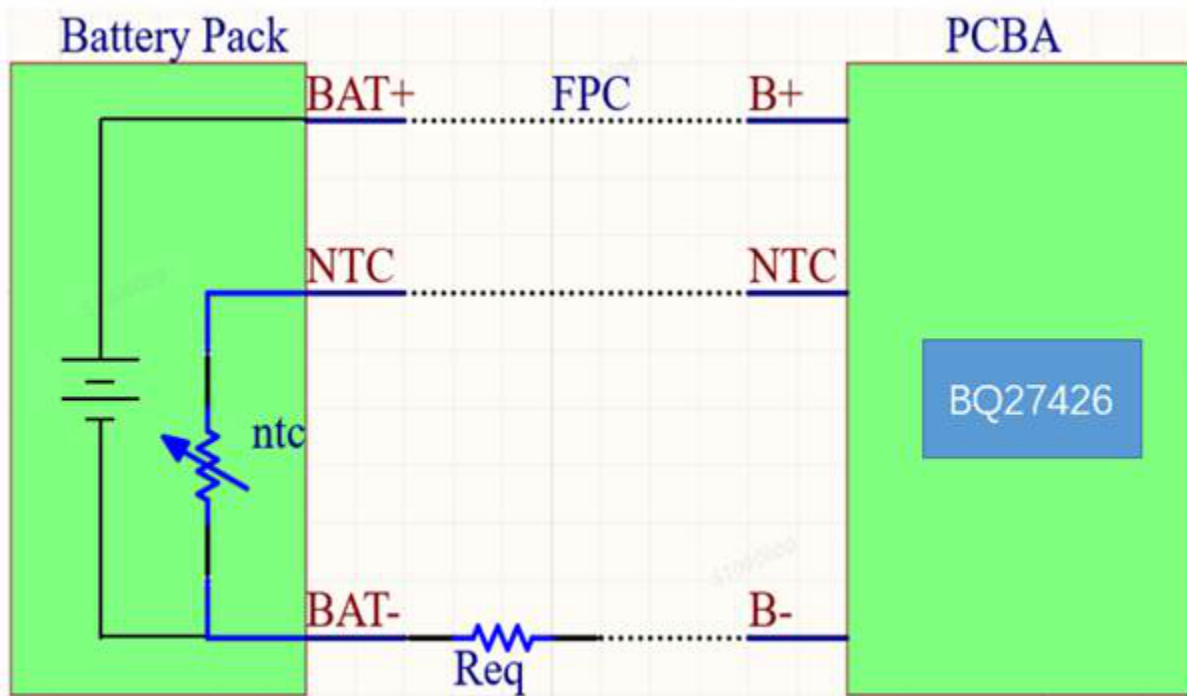


在这个案例中，小电流时电量计会进入休眠模式，休眠模式下不会测量电流（定期唤醒测量）。当加热电路开始工作，SRP-SRN 上的瞬间电压超过唤醒阈值 250(default)之后，电量计会被比较器唤醒，然后再打开库仑计分。这个持续过程中的 pass charge 会被忽略。如果每次放电电流持续几分钟，这部分通常可以忽略不计，但对于电子烟每一次加热电流只会持续几秒，整个使用过程电量计又频繁在休眠和正常模式切换，造成误差持续累积，不可忽略。

这是 BQ27426 睡眠模式的根本设计机制，给出的建议是在用户使用时禁用休眠模式，当产品待机时再重新配置使能休眠模式。为了不打断电量计仿真，配置过程中采用 EXIT_CFG_UPDATE_MODE (0x0043)命令来退出配置模式。

3 充放电时的假温度变化——采用四线 NTC 设计

由于电子烟电池保护板尺寸受限，通常会将电量计放在系统端。系统板和电池包通过三线连接 (PACK+,PACK-,NTC)。



这种设计中电量计 NTC 采集引脚的相对地是功率地，但从电池包 PACK-到 PCBA GND 有一段软排线，阻抗几毫欧到十几毫欧。当电流较小时，这段软排线压降不明显，可以忽略不计。但当大电流充放电时，这段软排线压降较大，会叠加到 NTC 的采样电压上，影响到温度测量。

我们理论计算下，假定软排线 50mohm 阻抗，充电电流 1.7A，线压降 $V_{drop}=0.050 \times 1.7=0.081V$ 。再假定 NTC 阻抗 10kohm(25℃)，计算出充电时 TS 引脚电压 $V_{ts}=1.8-0.081)/2+0.081=0.9405V$ ，反推 NTC 阻抗 $R=10kohm \times 0.9405/(1.8-0.9405)=10.94kohm$ ，查表发现该阻抗对应温度为 22℃。该压降造成的假温度变化达到了 3℃。

从下图案例中可以看到，当 1.7A 充电时，软排线压降叠加到 NTC 上的电压造成了 4℃ 的温度下降，停止充电时又造成了 4℃ 温度上升。温度变化超过阈值后触发重新仿真，导致 SOC 出现跳变。

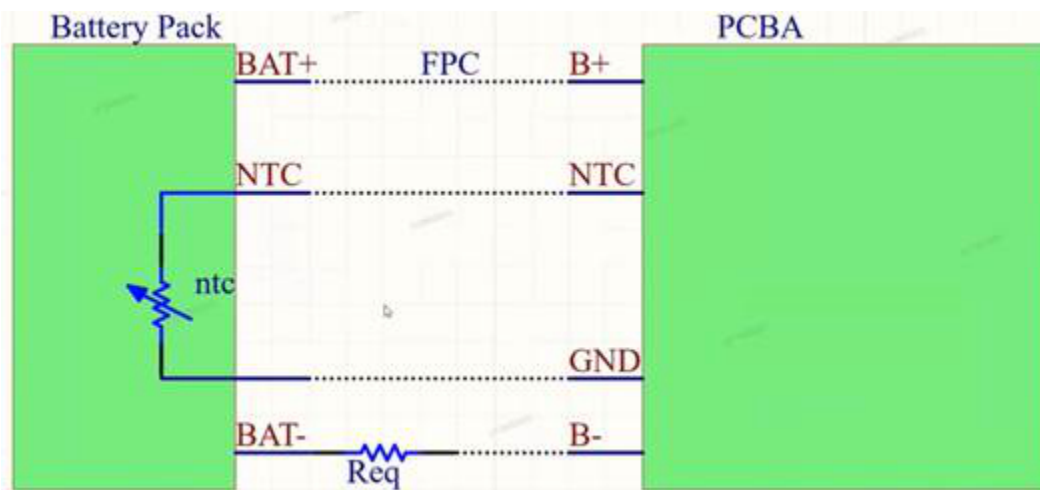
Time	SOC	TSOC	Voltage	Current	Temperature	TRM	TFCC	FRM	FFCC	Qmax	DOD0	PSC	DAE	ontrol Stat	Flags
18:16:43.158	0	3	3323	0	27	14	554	14	554	590	12092	129	672	0x008A	0x010E
18:16:45.657	1	3	3635	1748	23	13	570	14	554	590	12092	129	208	0x008A	0x010E

图 a：开始充电

Time	SOC	TSOC	Voltage	Current	Temperature	TRM	TFCC	FRM	FFCC	Qmax	DOD0	PSC	DAE	ontrol Stat	Flags
18:22:01.642	26	26	4061	1386	29	144	570	145	558	590	12092	65534	208	0x008A	0x0108
18:22:03.644	27	26	4063	1394	29	145	570	146	558	590	12092	65533	208	0x008A	0x0108
18:22:05.143	27	26	3836	161	33	145	570	146	558	590	12092	65533	208	0x008A	0x0108 the charging cable is unplugged
18:22:07.142	27	24	3826	0	32	131	557	146	558	590	12092	65533	168	0x008A	0x0108
18:22:09.141	27	24	3818	0	32	131	557	146	558	590	12092	65533	168	0x008A	0x0108

图 b：停止充电

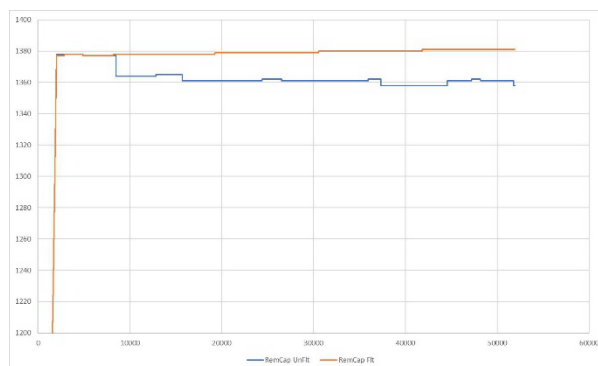
本案例最后采用了 4 线连接方式，将 NTC 的相对地单独区分开，以获得准确的温度采集。



4 使用 Smooth Sync 指令

电量计通过采集采样电阻的压差，经过 RC 滤波电路调理后，进入电量计的 SRP 和 SRN 引脚。有些案例中，当没有充放电时发现显示电流不为 0，为了减小这个假电流对容量积分的影响，可以调节 CC Deadband 来优化，具体分析见白皮书。

使用 BQ27426 时，看到了一个案例是，即使读到的电流为 0，但长时间静置后发现 SOC 仍然会上浮。根本原因在于采样电阻输入存在噪声，在采样时间中电量计会采集该噪声，并将其保持为库伦积分的 sub-LSB 计数，如果在采样时间内累积的 LSB 小于 CC Deadband，会将其丢弃。否则，将其添加到库伦积分中，持续累积。



避免该问题的方法是在长期存储期间定期或在存储结束时使用 SMOOTH_SYNC 命令。TRM 会根据静置状态下的电池电压进行更新，这个值更为准确，电量计应该在长时间无负载使用情况下报告 TRM。

5 提高 Taper current 设置值

BQ27426 报百的满充条件为电压大于 Taper Voltage，电流在两个 40s 持续时间内小于 Taper Rate。下面这个案例截止电压配置为 4180mV，截止电流配置为 180mA，发现即使满足截止条件仍然不报百。

35	temp	voltage	nominal	full	avail	remain	full	charge	average	c	average	c	state	of	c	internal	t	state	of	h	remain	ramin	full	charge	full	charge	state	of	c	control	st	flags	Qmax	presentD	OCV	curre	OCV	volta	simultan	trueSOC	DOD0	DODatEOI	trueRemC	passedCr	Qstart	DOD final
36	30.7	4204	1842	1848	1713	1731	131	803	99	31.9	100	1725	1725	1731	1731	100	8330	8	1929	647	0	4182	192	100	664	592	1725	65534	8	15298																
37	30.7	4204	1842	1848	1713	1731	145	610	99	31.7	100	1725	1725	1731	1731	100	8330	8	1929	647	0	4182	189	100	664	592	1725	65534	8	15298																
38	30.7	4190	1842	1848	1713	1731	0	0	99	31.7	100	1725	1725	1731	1731	100	8346	8	1929	647	0	4182	1	100	664	592	1725	65534	8	15298																
39	30.7	4190	1842	1848	1713	1731	0	0	99	31.7	100	1725	1725	1731	1731	100	8346	8	1929	647	0	4182	1	100	664	592	1725	65534	8	15298																
39	30.7	4190	1842	1848	1713	1731	0	0	99	31.7	100	1725	1725	1731	1731	100	8346	8	1929	647	0	4182	1	100	664	592	1725	65534	8	15298																

1	temp	voltage	nominal	full	avail	remain	full	charge	average	c	average	c	state	of	c	internal	t	state	of	h	remain	ramin	full	charge	full	charge	state	of	c	control	st	flags	Qmax	presentD	OCV	curre	OCV	volta	simultan	trueSOC	DOD0	DODatEOI	trueRemC	passedCr	Qstart	DOD final
80	30.7	4190	1842	1848	1713	1731	0	0	99	31.7	100	1725	1725	1731	1731	100	8346	8	1929	647	0	4182	1	100	664	592	1725	65534	8	15298																
81	30.7	4190	1842	1848	1713	1731	0	0	99	31.7	100	1725	1725	1731	1731	100	8346	8	1929	647	0	4182	1	100	664	592	1725	65534	8	15298																
82	30.7	4190	1842	1848	1713	1731	0	0	99	30.7	100	1725	1725	1731	1731	100	8346	8	1929	647	0	4182	1	100	664	592	1725	65534	8	15298																
83	30.6	4184	1842	1848	1713	1731	-15	-63	99	30.9	100	1725	1725	1731	1731	100	8330	8	1929	647	0	4182	-14	100	664	592	1725	65534	8	15298																
84	30.6	4183	1842	1848	1713	1731	-15	-63	99	30.7	100	1725	1725	1731	1731	100	8330	8	1929	647	0	4182	-16	100	664	592	1725	65534	8	15298																
85	30.6	4184	1842	1848	1713	1731	-15	-63	99	30.7	100	1725	1725	1731	1731	100	8330	8	1929	647	0	4182	-14	100	664	592	1725	65534	8	15298																

这是由于达到满充判定条件时电量计还要处于充电态，如果 80s 窗口后电流小于 quit current，电量计不认为此时还在充电，就不会检测满充，电量计不报百。而在电子烟中由于充电电流较小，充电 IC 的截止电流也会同样很小，此时截止电流的误差较大，如果按照常规经验放大 15%配置 Taper current，会导致电量计满充检测时间无法持续 80s 就进入静置状态。

建议按照 30%裕量来配置 Taper current。

6 总结

本文在《[Quick-Start Guide for bq27426 Fuel Gauge](#)》基础上，分析了电子烟应用中会出现的常见问题，并给出了优化建议。本文提供的方案已在头部电子烟客户上采纳。

重要通知和免责声明

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 产品的相关应用。严禁以其他方式对这些资源进行复制或展示。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
版权所有 © 2025，德州仪器 (TI) 公司