

## BQ76930 在小型化 BMS 系统设计中 PCB 注意事项

Pengfei Li

Sales and Application/North West China

### ABSTRACT

近两年，体积小、外形时尚的电动滑板车逐渐成为备受年轻人青睐的代步工具。整车造型美观、可以折叠，操作方便，驾驶更安全，是当下短途交通的不二之选。锂电池包因其能量密度高、电压高、环保、寿命长以及可快速充电等优点，深受各个行业的追捧。但小型化的锂电池 PACK 包的监控系统（BMS）较为复杂，包括充电均衡、温度、电压及过流监测等诸多内容。这就需要较为复杂的线路来对每一个电池进行监控，因此在小型化的电池包中 PCB 的 layout 规划对电池电压测量系统本身影响就非常大，一旦出现 PCB 引发的监控系统测量误差过大的问题，系统就会自动进入保护状态，对外封锁输出，整个系统掉电关闭，这对于整车系统是一个非常大的安全隐患。本文我们将重点讨论在小型化 BMS 设计中有关电池监控芯片的 PCB 注意事项。

### Contents

1	基于 BQ76930 的电池模拟前端监控方案 .....	2
2	BQ76930 断线情况下电压检测偏差案例 .....	2
3	断线情况下电压检测偏差案例分析验证 .....	4
4	PCB 设计上注意事项 .....	5
5	参考文献 .....	7

### Figures

Figure 1.	BMS 系统架构框图 .....	2
Figure 2.	BQ76930 采样电压与实际电压的对比 .....	2
Figure 3.	Open wire 故障现象分析图 .....	3
Figure 4.	对地漏电流导致的测量误差 .....	3
Figure 5.	机械研磨加水冷的芯片摘取方式 .....	4
Figure 6.	PCB 漏电流检测方式 .....	4
Figure 7.	PCB 单独加热测试时间表 .....	5
Figure 8.	PCB 过孔间的 CAF 现象 .....	6

## 1 基于 BQ76930 的电池模拟前端监控方案

如 Figure 1 所示，是典型的电池包监控管理系统，整套 BMS 系统可以有效的完成对电池智能化管理及维护，防止电池出现过充电和过放电，延长电池的使用寿命，监控电池的状态。BQ769x0 系列模拟前端（AFE）器件可以为多串电池串联系统提供稳定可靠的方案（如轻型电动车，电动工具和不间断电源），bq76930 最多支持 10 节电池串联或典型的 36V 电池组。该 AFE 可以测量多种电池化学成分，包括锂离子，磷酸铁锂等。通过 I2C，主机控制器可以使用 bq76930 来实现许多电池组管理功能，例如监视（电池电压，电池组电流，电池组温度），保护（控制充电或放电 FET）以及平衡。另外，BQ76930 集成的 ADC 可以在 TI 的芯片制造过程中进行校准，保证其采集以及转换的精度，通过这样的高精度模数转换器对关键系统参数进行纯数字的读取。同时影响 ADC 采集精度的一个重要参数还有 PCB 的优化设计，本文将详细论述 PCB 设计对 BMS 的影响。

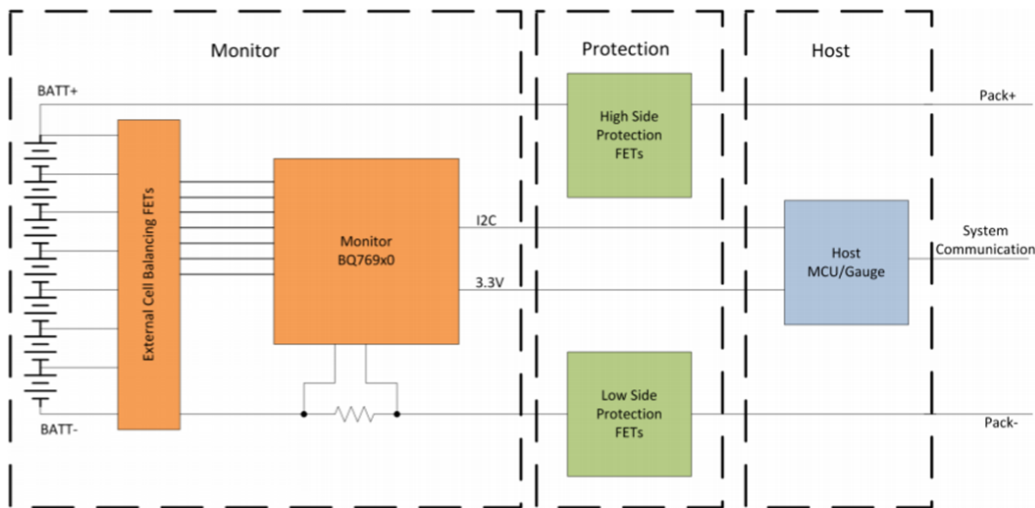


Figure 1. BMS 系统架构框图

## 2 BQ76930 断线情况下电压检测偏差案例

首先需要解析 BQ76930 的电压采集路径。对于 BQ76930 内部的 ADC 采样监控电池电压的部分，会由于通道漏电流的原因导致其 ADC 采样端口电压上的变化，导致其最终的采样电压出现偏差。如 Figure 2 所示，10 个通道的采样电压结果和实际电压的对比情况。对于第 9 通道和第 10 通道的采样结果，偏差为 69mV 和 45mV，已经超出了规格书上标记的 40mV 的阈值。

#100BMS	#3电池包									
	Cell1(V)	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Battery Voltage(V)	3.763	3.771	3.769	3.762	3.771	3.774	3.760	3.774	3.778	3.743
ADC Reading(V)	3.764	3.766	3.768	3.761	3.769	3.78	3.759	3.777	3.709	3.788
Delta(Vcell-ADC)(V)									-0.069	0.045
IC Pin voltage(V)	3.764	3.767	3.768	3.762	3.77	3.776	3.758	3.774	3.716	3.805
Delta(ADC-IC Pin)(V)	0	0.001	0	0.001	0.001	-0.004	-0.001	-0.003	0.007	0.017

Figure 2. BQ76930 采样电压与实际电压的对比

同时伴随的现象是，采样存在偏差的通道不会集中在 9，10 通道，会随机的分布在各个通道，有一些的测试结果表明不仅仅两个通道，也会有三个甚至四个通道存在偏差。但是此时会发现一个相对统一的规律，相邻的通道存在偏差会表现为一高一低。同时，只要用焊枪或者热风枪加热芯片或者芯片周边器件，测量误差现象就会彻底消失，无法再次重现。分析高低偏差，存在的可能性为开路故障。

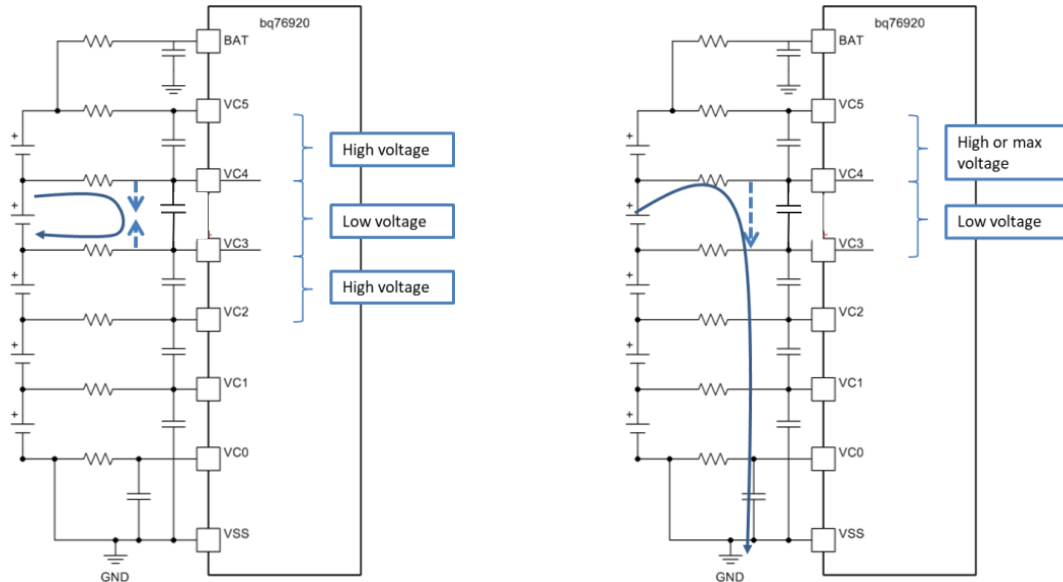


Figure 3. Open wire 故障现象分析图

如 Figure 3 左所示，当 Cell3 和 Cell4 之间存在环流时，这里蓝色箭头代表是在 VC3 和 VC4 之间的电流环流。这个环流会导致 VC3 节点电压高于被测电池节点电压，同时 VC4 会低于被测节点电压，这样的环流会直接导致 Vcell3 电压高于实测电压，Vcell4 会大幅低于实测电压，而 Vcell5 也会因此高于实测。同样的分析方式也可以分析出 Figure 3 右所示的故障现象。最终会导致 Vcell4 低于实测电压而 Vcell5 会高于实际电压，结果如 Figure 4 所示。

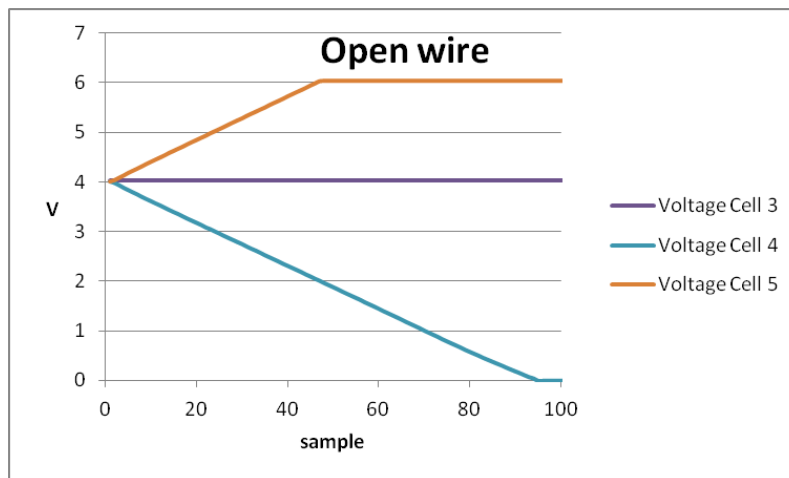
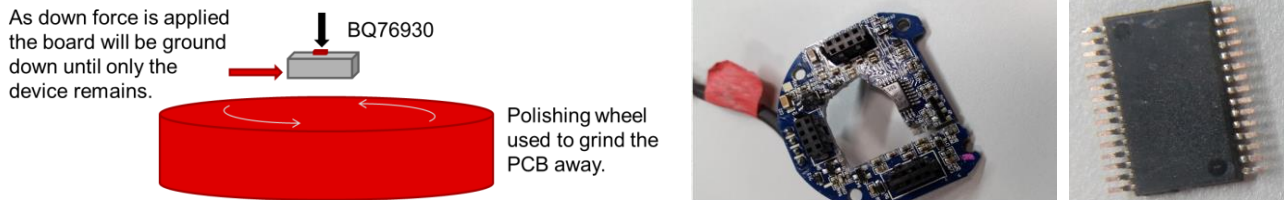


Figure 4. 对地漏电流导致的测量误差

### 3 断线情况下电压检测偏差案例分析验证

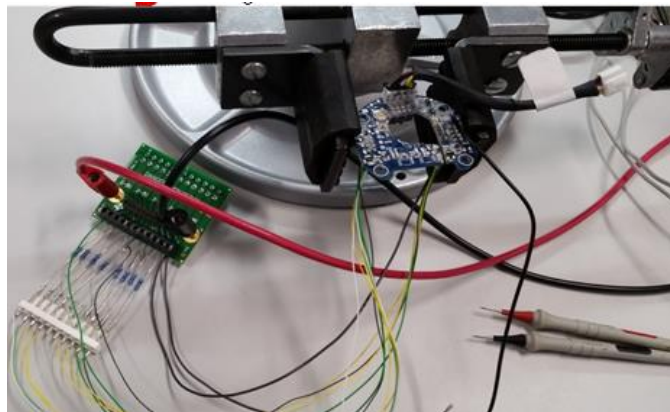
针对以上的断线情况下的电压偏差问题，需要重点分析漏电流的来源，在此，提供以下几个分析路径：

1. BQ76930 芯片模拟前端均流过程导致的环流；（可人为屏蔽自动均流功能进行验证）
2. BQ76930 模拟前端硬件电路（BQ7718 二级保护芯片+电阻电容差分采样电路）；（为控制加热，可用切割的方式将原本焊接的芯片及电阻电容进行摘取，然后进行验证）
3. BQ76930 芯片本身存在内部损坏；（可按照 Figure 5 所示，水冷加研磨的方式将芯片从切割后的 PCB 上取下，然后进行芯片级的验证测试）
4. PCB 本身存在漏电流；（如 Figure 6 所示，将所有器件用切割的方式取下，对 PCB 进行测试）



**Figure 5. 机械研磨加水冷的芯片摘取方式**

本文所提到的问题，最终验证所有的测试方向，第 1，2，3 种可能性都被一一排除，只有最后一个方向找到相关漏电流的现象，如 Figure 6 所示，将 PCB 单独进行加载测试，测试结果表明 PCB 在没有任何芯片以及采样电路的情况下，其本身通道 6 存在 100uA 漏电流，此时的漏电流足以影响端口 ADC 的采样电压误差。



**Figure 6. PCB 漏电流检测方式**

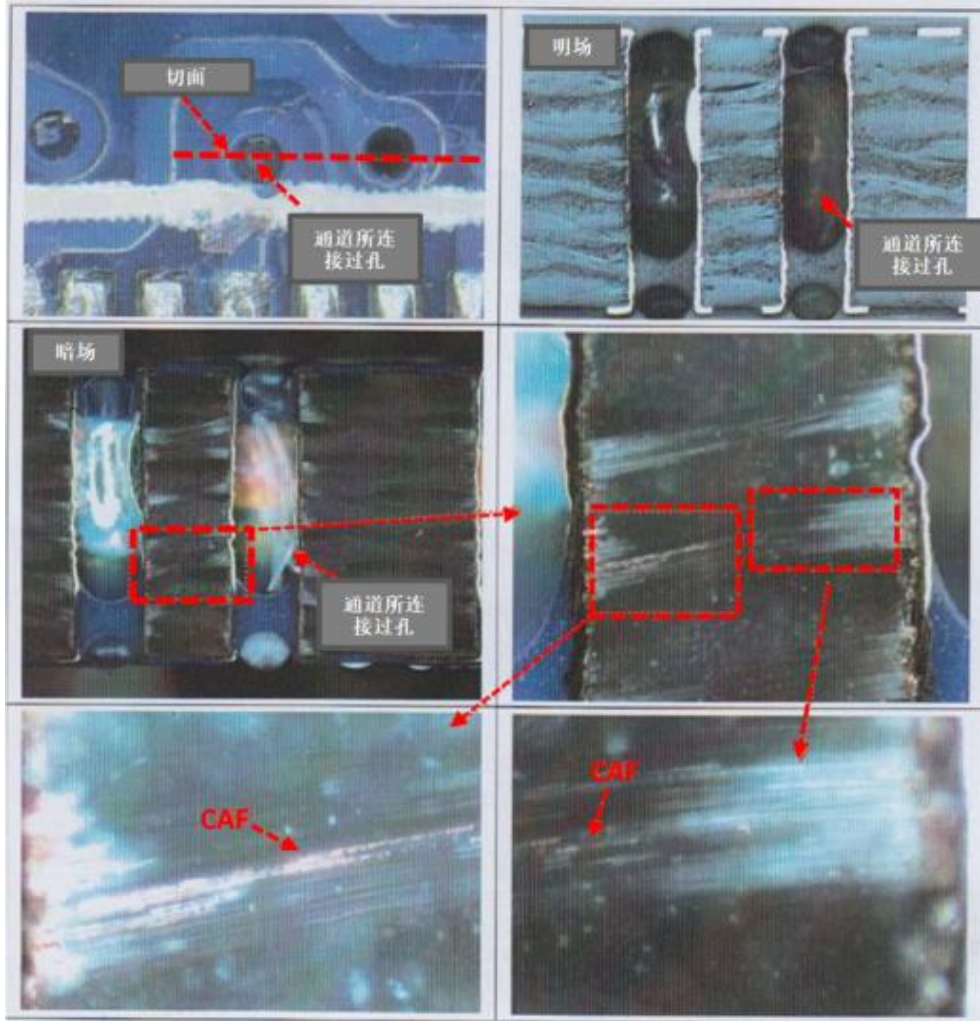
同时对 PCB 单独进行加热处理，如 Figure 7 所示，PCB 的漏电现象会随着加热的进行而逐渐消失。最初的 150mV 的偏差，随着加热时间的加长，偏差会发生变化，当移除加热装置后，可以明显看到偏差电压降低到了 0.003mV，基本上不再存在电压偏差。

Activity	Time	R VC8 mV	R VC6 mV	
Wait	4:56 PM	149	-148	Much variation
Wait	4:59 PM	154	-155	
Wait	5:01 PM	157	-158	
Wait	5:03 PM	161	-162	
Wait	5:06 PM	165	-165	
Heat with gun	5:07 PM	520	-519	Large variations, 10's of mV to large values shown. Stabilize around 444
no gun	5:08 PM	424	-428	More stable with gun removed a while
Heat gun				
Rest, 73C in boa	5:11 PM	300	-297	
Heat out of rang	5:12 PM	730	-737	Large variations again, from mV to 700 mV range
Wait, allow some cooling		600	-600	Still varying
Heat longe board smells scorched	~ 800	~ -800		
Remove heat			-3.xV	Voltage varying widely, then went to low value
	5:19 PM	-0.003	-0.034	
	5:23 PM	-0.0034	-0.0059	Board cool to the touch, mat still warm Board ~ 25C, Mat ~ 29C
Turn off	5:25 PM			
Apply 37V	5:25 PM	-0.0032	-0.0063	
Wait	5:30 PM	-0.0037	-0.0044	

**Figure 7. PCB 单独加热测试时间表**

## 4 PCB 设计上注意事项

检查 PCB 的原理图以及走线可以确认，原理上不存在这里所示的漏电流回路。通过对 PCB 进行进一步的剖面分析，最终确定是 PCB 本身的漏电导致整个问题的出现，这种 PCB 自身漏电的现象实则是由于材质间的短路引发的，这种 PCB 材质间的微短路现象学名 CAF(Conductive Anodic Filament)，纤维丝漏电微短路现象。这种纤维丝在过孔与过孔之间，过孔与走线，走线与走线间，以及物理层之间，都有可能出现，如 Figure 8 所示，在 PCB 的过孔与过孔之间存在非常明显的金属拉丝，这种纤维丝会导致两个过孔间出现物理微短路现象。使得原本在物理上断开的两个接口之间形成导电通路，最终导致出现本文讲到的通道间漏电流。



**Figure 8. PCB 过孔间的 CAF 现象**

基于 PCB 设计的角度，有两种不同的思路。

第一种思路，是 PCB layout 过孔布局与走线方式的改进。针对过孔间的微短路，其当有直流偏压的相邻走线或过孔距离越小时，其发生 CAF 的机率也就越来越高。所以在 PCB layout 上要特别留意，这里 PCB 间距的一个最小过孔尺寸建议是 **0.3mm**。即即便紧凑型 PCB 布局，也要考虑过孔间距离，走线间距，尽可能控制在 **0.3mm** 以上。另外，分享一点，如果可以将通孔排列方式做 **45 度角** 的交叉布线将有助将低 CAF 的发生率。

第二种思路，是关于 PCB 的材质选择，当 PCB 布局受限同时又有大量走线和过孔时，建议材质由 **FR4 普通材质** 升级为抗 CAF 的 **6165 PCB 材质** 进行生产，同时可以使用密封胶来封闭可能产生空隙形成 CAF 的交界。

最后此案例的解决方案是优化了过孔间距并改进了 PCB 的生产材质，最终验证了方案的可行性。应对目前逐渐广泛的锂电池应用市场，对于锂电池的监控设计也要逐步的提高要求。利用合理的设计和材质的选择尽可能的规避后续的产品风险。

## 5 参考文献

1. *bq769x0 Family Top Design Considerations Application Report (SLUA749)*
2. *bq76930 and bq76940 Evaluation Module User's Guide (SLVU925C)*
3. *bq769x0 Family Top 10 Design Considerations (SLUA749A)*

## 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 © 2020 德州仪器半导体技术（上海）有限公司