

## 理解 BQ76905/07 电压采样 Measurement Loop 的调度逻辑

厉梦溪 Jayden Li / 方钰鑫 Jenson Fang

FAE East China / SE Appliance

### ABSTRACT

BQ76905/07 是 TI 最新系列模拟前端，支持 2-7S 电池包，具有采样精度高，功耗小，保护功能丰富，支持乱序上电，集成低边驱动，集成 LDO 和内部均衡电路等诸多优点而被广泛应用于吸尘器，电动工具，无人机等多种应用的 BMS 方案中。但是很多用户在初次使用该芯片时，经常会对我们内部的电压采样循环感到困惑，为提高用户在使用该芯片进行方案设计的效率，本文将图文并茂的方式，帮助大家更清晰直观地理解 BQ76905/07 的电压采样逻辑。

### Contents

<b>1</b>	<b>BQ76907 电压采样资源简介</b> .....	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Normal Mode</b> .....	<b>2</b>
	2.1 7S 电池包 .....	2
	2.2 小于 7S 的电池包 .....	4
<b>3</b>	<b>Sleep Mode</b> .....	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>Startup Mode</b> .....	<b>5</b>
<b>5</b>	<b>Cell Balance Mode</b> .....	<b>5</b>
<b>6</b>	<b>参考文献</b> .....	<b>7</b>

### Figures

Figure 1.	BQ76907 功能框图 .....	2
Figure 2.	ADSCAN LOOP for 7S Pack .....	2
Figure 3.	FULLSCAN LOOP .....	3
Figure 4.	ADSCAN LOOP with LOOP_SLOW Speed Control .....	3
Figure 5.	ADSCAN LOOP for 4S Pack .....	4
Figure 6.	Voltage Measurement Loop in Sleep Mode (7S version) .....	5
Figure 7.	Voltage Measurement Loop in Startup Mode (7S version) .....	5
Figure 8.	BQ76907 内部均衡电路 .....	6
Figure 9.	Voltage Measurement Loop in Cell Balance Mode (7S version) .....	7
Figure 10.	Voltage Measurement Loop in Cell Balance Mode (7S version) .....	7

## 1 BQ76907 电压/电流采样资源简介

Figure 1 所示为 BQ76907 的功能框图，由图可见，BQ76907 有一个  $\Delta-\Sigma$  ADC 对各节电芯电压以及 TS Pin 电压，内部 LDO 输出电压以及 VREF1 电压等进行采集，采样精度可以达到 4mV。因为他们是通过 MUX 来共享一个 ADC，因此必然需要某种特定的调度来实现对所有电压的采集。

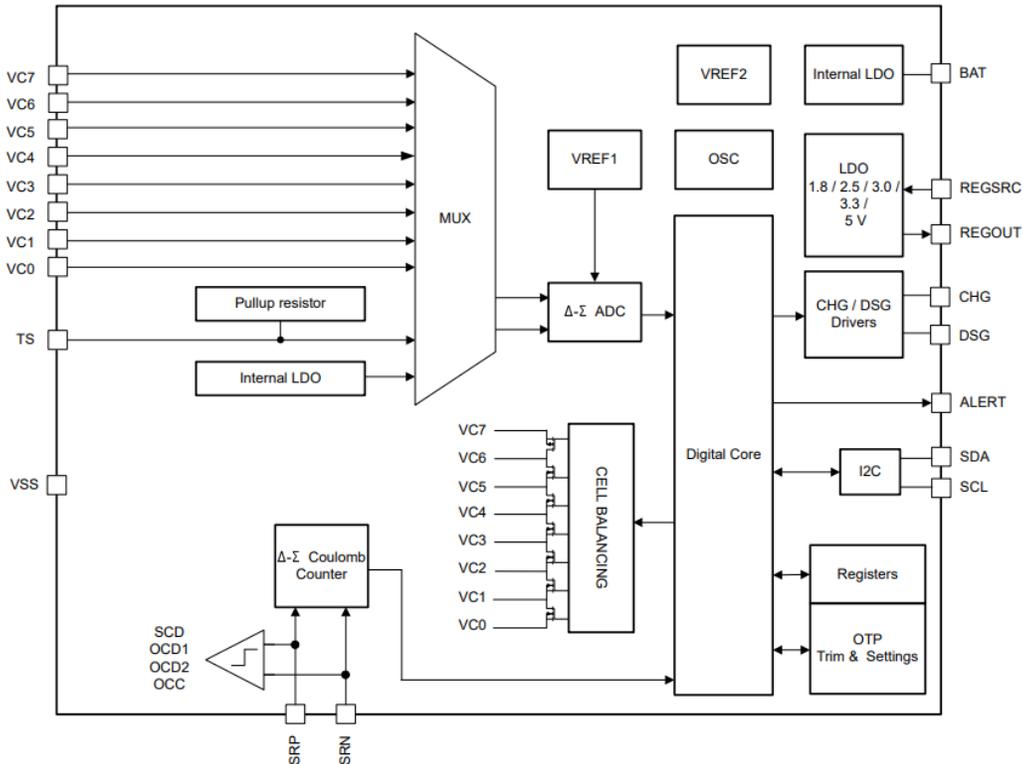


Figure 1. BQ76907 功能框图

然而考虑到不同工作场景下，不同电芯串数，以及对采样的精度和速度以及芯片功耗的要求是不一样的，因此实现方式又会有所不同，具体将在以下章节以 BQ76907 为例进行详细描述。

## 2 Normal Mode

本节会对 7S 电池包以及小于 7S 的电池包在 **Normal Mode** 下的采样逻辑分别做介绍。

### 2.1 7S 电池包

对于 7S 的电池包而言，如 Figure 2 所示，BQ76907 会以 **ADSCAN LOOP** 的形式进行电压采样。

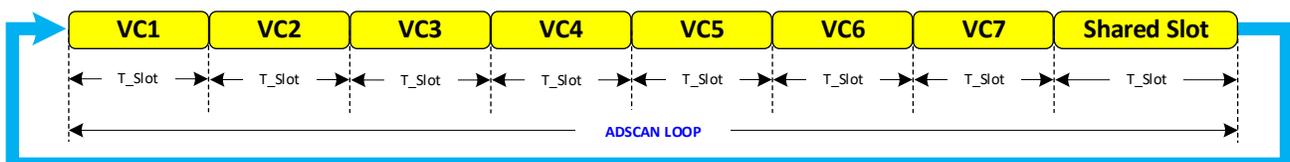


Figure 2. ADSCAN LOOP for 7S Pack

(注: 图中 VCx 表示 VCx Pin 和 VCx-1 Pin 之间的差分电压, 即电芯电压)

每个 **ADSCAN LOOP** 包含 8 个 Slot, 其中, 前 7 个 Slot 连续地采集 7 节电芯电压, 而最后一个 Slot 则是一个 Shared Slot。

其中每个 Slot 的时间 T\_Slot 是可以通过 [CVADCSPEED\_1, CVADCSPEED\_0] 进行配置的。如 Table 1 所示。T\_Slot 越小, 采样率越高, 但分辨率就越低, 相反, T\_Slot 越大, 采样率越低, 但分辨率也就越高。因此用户在配置 T\_Slot 时需要折中考虑 BQ76907 采样的速度和分辨率。

Table 1. T\_Slot

CVADCSPEED_1	CVADCSPEED_0	T_Slot	ADC Resolution	Effective Resolution (limited by 1mV steps)
0	0	2.93ms	182.5uV	1mV
0	1	1.46ms	258.1uV	1mV
1	0	732us	516.2uV	1mV
1	1	366us	2920uV	3mV

Shared Slot 由(TS Pin 电压, 内部温度, VC7 Pin 电压, REG18 电压以及 VSS 电压)共享, 因为这些电压相比电芯电压不需要很快的采样速率, 所以每次 **ADSCAN LOOP** 只会采集其中一个电压, 每 5 个 **ADSCAN LOOP** 才会完成对所有电压的采集, 因此每 5 个 **ADSCAN LOOP** 称为一个 **FULLSCAN LOOP**, 如 Figure 3 所示。

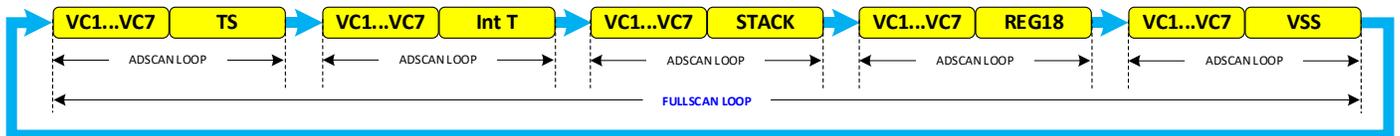


Figure 3. FULLSCAN LOOP

当然, 在很多应用场景下, 客户实际对采样刷新率要求并不是很高, 但对功耗的要求比较高, 希望在 **Normal Mode** 下能够适当保持在一个较低的功耗水平。为此, BQ76907 开放了一个寄存器: LOOP\_SLOW [1, 0], 通过配置该寄存器, 用户可以在每一个 Active Slot 后面插入若干个 IDLE Slot, 通过此方法降低采样率, 实现更低的功耗。如 Figure 4 所示:

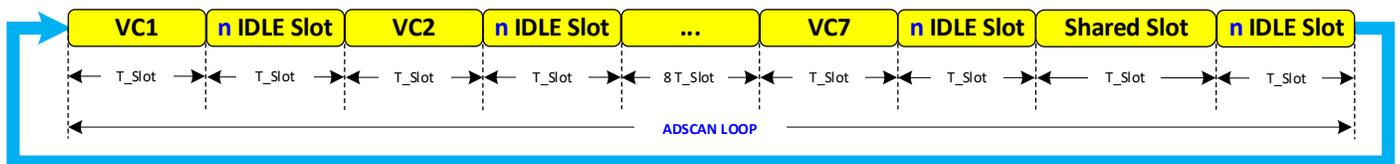


Figure 4. ADSCAN LOOP with LOOP\_SLOW Speed Control

其中,

$$n = 2^{LOOP\_SLOW[1:0]} - 1$$

n 和 IDLE Slot 数量的关系也可以直接参考以下表格:

**Table 2. LOOP\_SLOW Speed Control**

LOOP_SLOW [1]	LOOP_SLOW [0]	Loop Speed
0	0	Full Speed (0 Idle Slot after 1 Active Slot)
0	1	Half Speed (1 Idle Slot after 1 Active Slot)
1	0	Quarter Speed (3 Idle Slots after 1 Active Slot)
1	1	Eighth Speed (7 Idle Slots after 1 Active Slot)

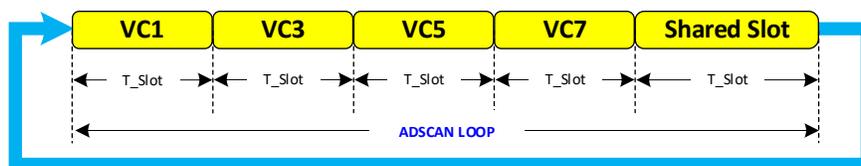
## 2.2 小于 7S 的电池包

对于小于 7S 的电池包，首先在电芯连接上必须按照如下 Table 3 规定连接方式进行连接，并且 **Settings:Configuration:Vcell Mode** 也配置成实际串数。如果不按照 Table 3 规定连接方式进行连接，BQ76907 则会把短路的部分误当为实际的电芯进行采样，从而读取到接近 0V 电压，而若欠压保护使能，则会触发欠压保护。

**Table 3. Cell Usage and Connection**

Number of Cell Used	Connected Cells	Shorted Cells
6	VC7, VC6, VC5, VC3, VC2, VC1	VC4-VC3
5	VC7, VC5, VC3, VC2, VC1	VC6-VC5, VC4-VC3
4	VC7, VC5, VC3, VC1	VC6-VC5, VC4-VC3, VC2-VC1
3	VC7, VC5, VC1	VC6-VC5, VC4-VC3, VC3-VC2, VC2-VC1
2	VC7, VC1	VC6-VC5, VC5-VC4, VC4-VC3, VC3-VC2, VC2-VC1

在 BQ76907 的采样循环里，为了节省采样资源，提高采样效率，BQ76907 会自动跳过那些没有实际连接电芯的通道，以 4S 电池包为例，如 Figure 5 所示，BQ76907 自动跳过了第 2, 4, 6 节通道的采样，这样一个 **ADSCAN LOOP** 的 slot 数量由 8 减少为 5，大大提高了采样的效率。

**Figure 5. ADSCAN LOOP for 4S Pack**

当然同样的，上节所述的 **LOOP\_SLOW Speed Control** 在此也仍然适用。

### 3 Sleep Mode

当芯片处于 **Sleep Mode** 时，为节省功耗，BQ76907 并不会像 **Normal Mode** 那样一直进行采样，而是会间歇性地进行采样。如 Figure 6 所示，在 **Sleep Mode**，BQ76907 会保持一段时间的 **IDLE** 状态后，进入 **Burst** 采样阶段，**Burst** 采样和之前所述的 **ADSCAN LOOP** 的区别是：**Burst** 采样会一次性对所有电芯电压以及 **Shared Slot** 采集完，目的是减少 **Burst** 的次数，节省 **Sleep Mode** 下的功耗。

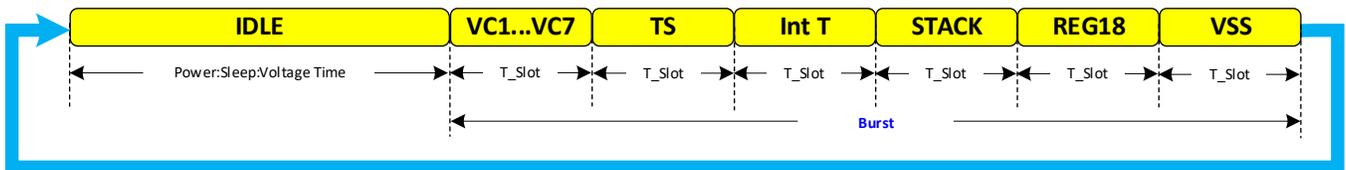


Figure 6. Voltage Measurement Loop in Sleep Mode (7S version)

其中，保持 **IDLE** 状态的时间可以通过寄存器 **Power:Sleep:Voltage Time** 进行配置。但如果在 **Power:Sleep:Voltage Time** 这段时间内，BQ76907 退出了 **Sleep Mode**，那就会立即执行一轮 **Burst** 采样，然后进入前文所述的 **Normal Mode** 采样模式。

### 4 Startup Mode

如 Figure 7 所示，如果是从 **SHUTDOWN Mode** 唤醒，或者从 **DEEPSLEEP Mode** 退出，又或者是从 **CONFIG\_UPDATE Mode** 退出，BQ76907 将进入 **Startup Mode**。如 Figure 7 所示，在唤醒或者退出时刻，BQ76907 会立即执行类似于 **Sleep Mode** 的 **Burst** 采样，即对所有的电芯电压以及 **Shared Slot** 进行采样。在采样完之后，如果没有保护等异常事件，将会正常进入 **Normal Mode**。

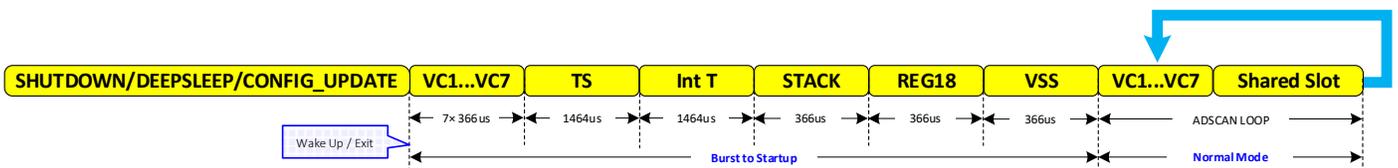


Figure 7. Voltage Measurement Loop in Startup Mode (7S version)

需要注意的是，在 **Startup Mode** 的 **Burst** 采样阶段，所有的 **T\_Slot** 都是固定不可配置的。并且除温度相关采样外，所有电压采样都是按照最小时间进行采样的，目的是能够尽快地完成所有电压的采集，加快启动时间，优化用户的使用体验。之所以温度采样需要更长的时间是因为温度采样更敏感，需要更小的分辨率。

### 5 Cell Balance Mode

BQ76907 内部集成了均衡电路，所采用的是被动均衡法，最大支持 **50mA** 的内部均衡电流。但必须是由主机发指令来开启均衡。不仅可以支持非相邻节电芯的同时均衡，相邻的两节电芯也可以同时均衡。

当均衡开启后，对应节电芯及其相邻节电芯的引脚电压都会改变。Figure 8 所示为 Cell\_n 节电芯均衡开启前后的等效电路。

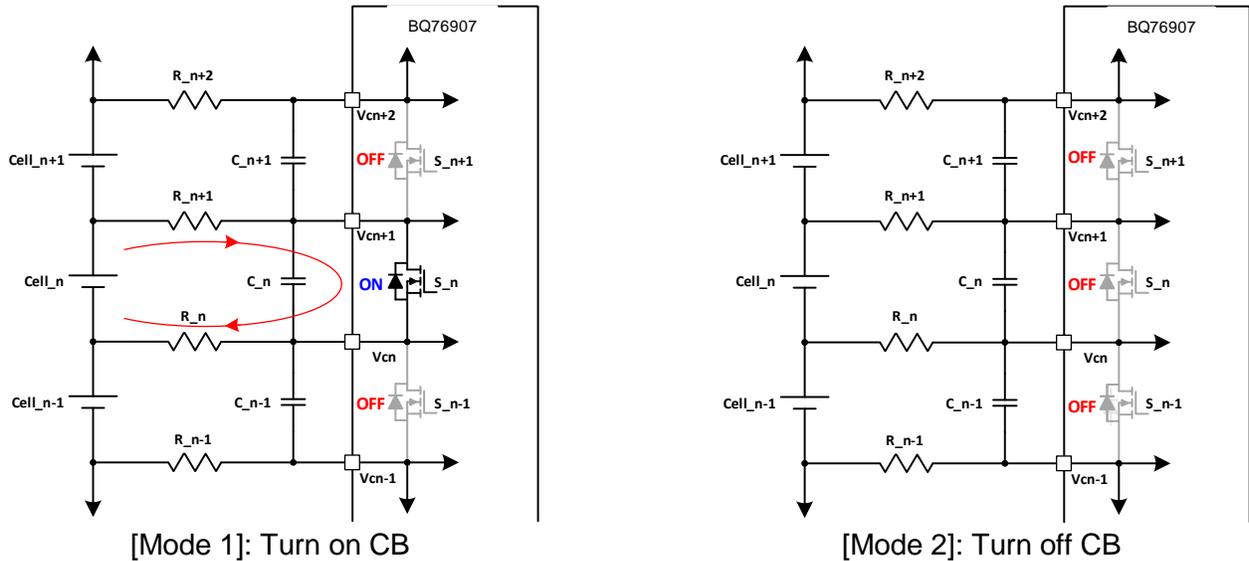


Figure 8. BQ76907 内部均衡电路

通过观察 Figure 8，很容易推导出，在均衡开启前后，对应的 VCx 输入引脚电压会发生如下改变：

Table 4. 均衡开启前后 VCx 引脚电压变化

Voltage	Balance OFF	Balance ON
$V_{cn+1} - V_{cn}$	$V_{cell_n}$	$\frac{V_{cell_n}}{R_n + R_{n+1} + R_{dson}} \times R_{dson}$
$V_{cn} - V_{cn-1}$	$V_{cell_{n-1}}$	$V_{cell_{n-1}} + \frac{V_{cell_n}}{R_n + R_{n+1} + R_{dson}} \times R_n$
$V_{cn+2} - V_{cn+1}$	$V_{cell_{n+1}}$	$V_{cell_{n+1}} + \frac{V_{cell_n}}{R_n + R_{n+1} + R_{dson}} \times R_{n+1}$

为防止因为电池均衡而得到错误的采样电压，因此 BQ76907 在采样的时候，禁止所有均衡 FETs 开通。而为了平衡均衡能力(均衡占空比)和采样速率，BQ76907 会在电芯均衡时，通过 **CB\_LOOP\_SLOW[1:0]**寄存器在正常采样的 **ADSCAN LOOP** 后面增加若干个 **IDLE Slot**，如 Figure 9 所示：

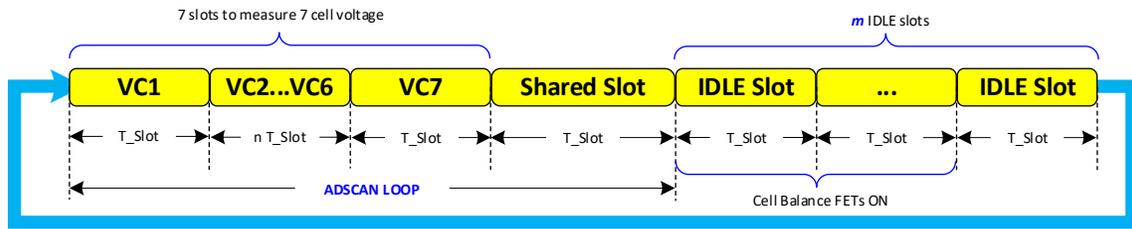


Figure 9. Voltage Measurement Loop in Cell Balance Mode (7S version)

图中，

$$m = (2^{CB\_LOOP\_SLOW[1:0]+1} - 1) \times 8$$

插入的 IDLE Slot 越多，均衡占空比就越大，电池包的均衡能力就越强，但采样的刷新率会降低，因此用户需要根据实际使用场景进行对 **CB\_LOOP\_SLOW[1:0]** 寄存器进行配置。

此外，在关闭电池均衡时，由于有 RC 网络的存在，电压恢复需要一定的时间，这就会导致关闭电池均衡瞬间之后的几个电压采样误差较大，为了避免这样的误差，BQ76907 开放了一个延时采样寄存器：**Settings:Cell Balancing:Balancing Configuration[CB\_DLY2:0]**，通过该寄存器，我们可以在关闭 Cell Balance 和有效电压采样之间插入一个 0-64ms 的延时，如 Figure 10 所示。

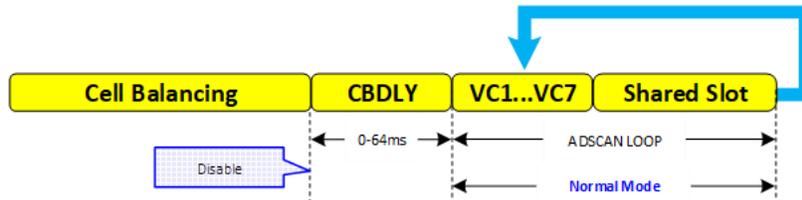


Figure 10. Voltage Measurement Loop in Cell Balance Mode (7S version)

## 6 参考文献

1. BQ76907 2-Series to 7-Series High Accuracy Battery Monitor and Protector for Li-Ion, Li-Polymer, LiFePO4 (LFP), and LTO Battery Packs datasheet (SLUSE96)
2. BQ76907 Technical Reference Manual (SLUUCJ0)
3. 5s to 7s battery pack monitor reference design with low-side MOSFET control (TIDA-010268)

## 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 © 2024，德州仪器 (TI) 公司