

PT6010 应用说明

产品功能	8~10 节锂离子/锂聚合物电池保护芯片
常规应用	10 节串联的锂电池保护电路
文件编号	PT6010_AN01
版本	0.1

1. 产品概况

1.1 高精度电压检测电路

- 过充电检测电压：4.25V，精度±25mV
- 过充电恢复迟滞电压：100mV
- 过放电检测电压：2.80V，精度±80mV
- 过放电恢复迟滞电压：200mV
- 断线检测电压：1.20V，精度±100mV
- 断线恢复迟滞电压：100mV
- 均衡检测电压：4.15V，精度±25mV
- 1 级放电过流检测电压：100mV，精度±10mV
- 2 级放电过流检测电压：200mV，精度±20mV (2 倍 1 级放电过流检测电压)
- 负载短路检测电压：500mV，精度±50mV (5 倍 1 级放电过流检测电压)
- 充电过流检测电压：20mV，精度±6mV

1.2 可通过外部电阻设置充放电过温保护阈值和充电低温保护阈值

1.3 可通过外部引脚设置 CUV、DOC1 和 DOC2 的保护延迟时间

1.4 低耗电电流

- 工作模式：典型值 25μA
- 休眠模式：最大值 2μA
- 关断模式：最大值 2μA

1.5 支持多芯片级联应用

1.6 电子锁功能

1.7 报警信号输出

1.8 封装：LQFP-32L

2. 典型应用电路

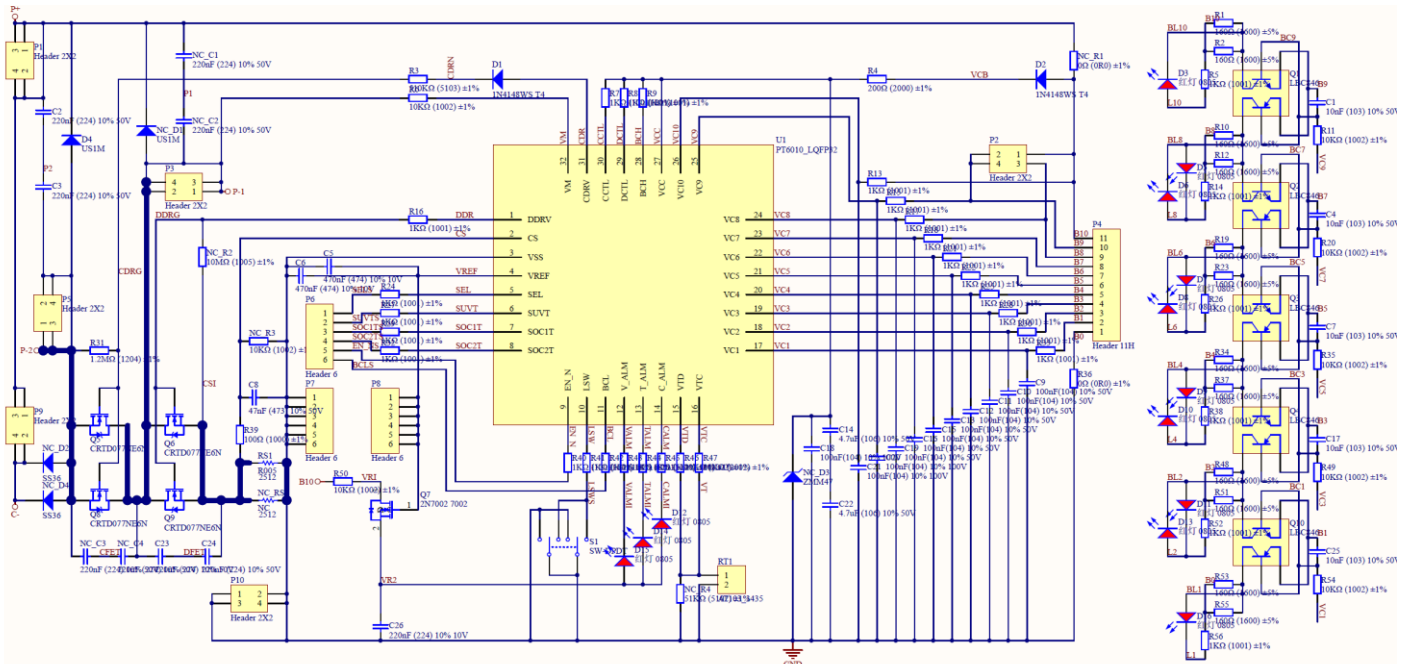


Fig. 1 PT6010 充电 NMOSFET 放电 NMOSFET 的典型应用电路 (10 节串联的电池包)

3. Demo 介绍

3.1 7 节串联的电池包保护板 Demo

3.1.1 Demo PCB Layout

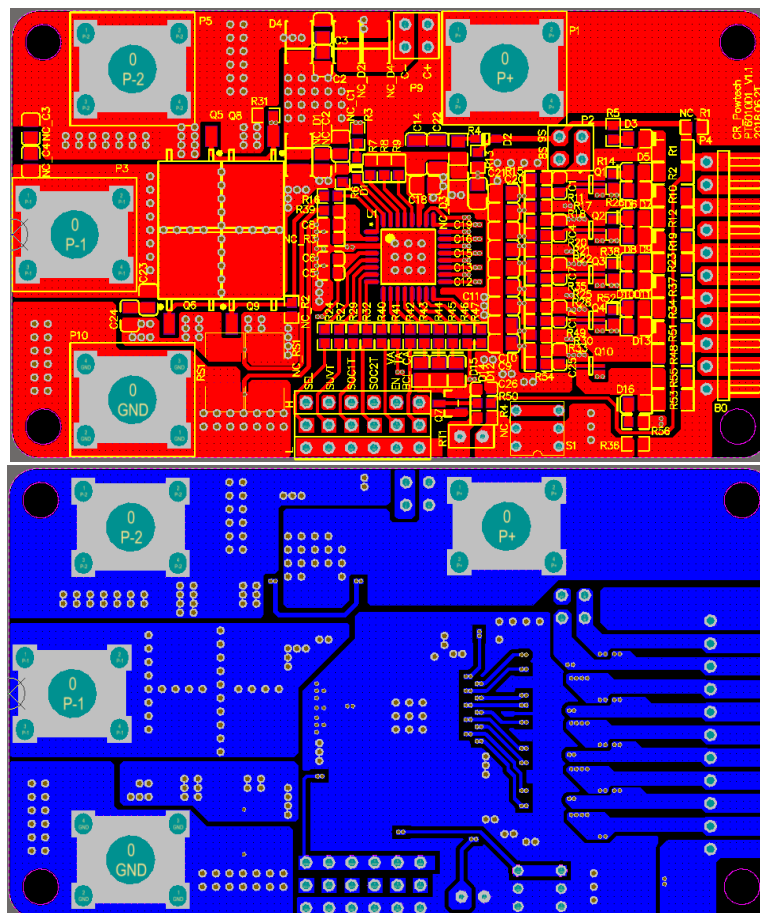


Fig. 2

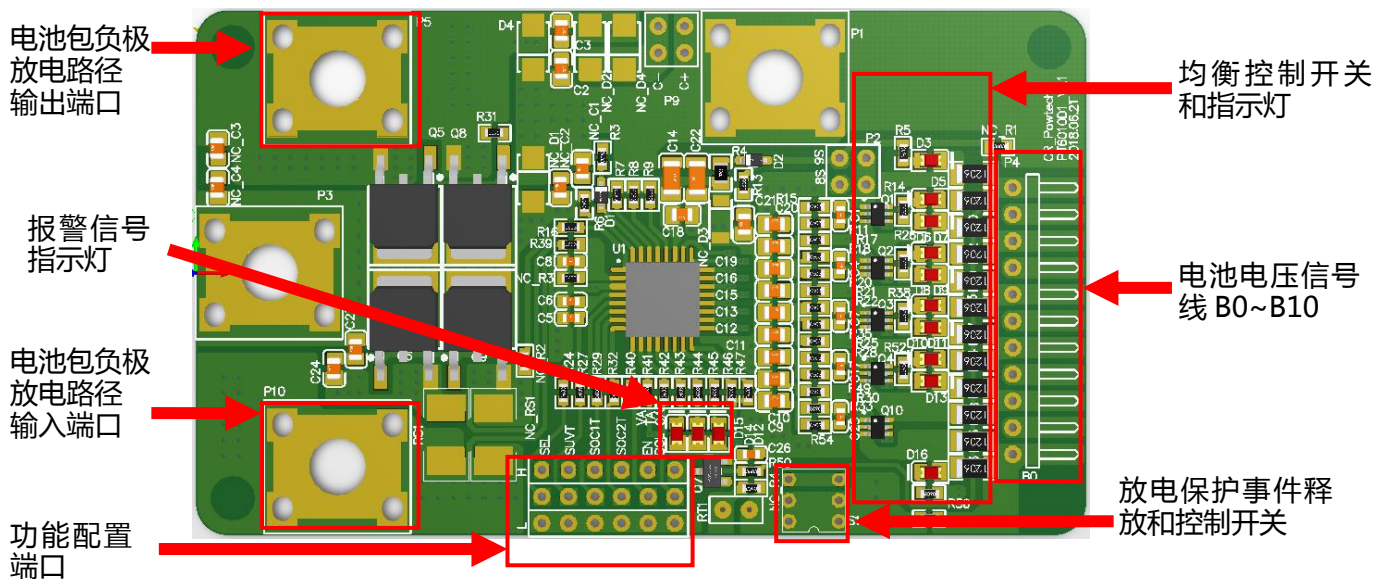
3.1.2 Demo 板硬件布局及接线


Fig. 3

3.1.3 Demo 元件清单

Comment	Designator	Footprint	Quantity
10nF (103) 10% 50V	C1, C4, C7, C17, C25	0603_C	5
220nF (224) 10% 50V	C2, C3, C23, C24	0805_C	4
470nF (474) 10% 10V	C5	0603_C	1
470nF (474) 10% 10V	C6	0603_C	1
47nF (473) 10% 50V	C8	0603_C	1
100nF(104) 10% 50V	C9, C10, C11, C12, C13, C15, C16, C19	0805_C	8
4.7uF (106) 10% 50V	C14, C22	1206_C	2
100nF(104) 10% 100V	C18, C20, C21	0805_C	3
220nF (224) 10% 10V	C26	0603_C	1
1N4148WS T4	D1, D2	SOD-323	2
红灯 0805	D3, D5, D6, D7, D8, D9, D10, D11, D12, D13, D14, D15, D16	0805_LED_S1	13
US1M	D4	SMA	1
0Ω (0R0) ±1%	R36	0603_R	1
10KΩ (1002) ±1%	R6, R11, R20, R35, R49, R50, R54	0603_R	7
LBC846	Q1, Q2, Q3, Q4, Q10	SOT-363	5
NCE7560K	Q5, Q6, Q8, Q9	TO-252-2	4
2N7002 7002	Q7	SOT-23	1
160Ω (1600) ±5%	R1, R2, R10, R12, R19, R23, R34, R37, R48, R51, R53, R55	1206_R	12
510KΩ (5103) ±1%	R3	0603_R	1
200Ω (2000) ±1%	R4	0805_R	1
1KΩ (1001) ±1%	R5, R7, R8, R9, R13, R14, R15, R16, R17, R18, R21, R22, R24, R25, R26, R27, R28, R29, R30, R32, R33, R38, R40, R41, R42, R52, R56	0603_R	27
1.2MΩ (1204) ±1%	R31	0603_R	1
100Ω (1000) ±1%	R39	0603_R	1

5.1KΩ (5101) ±1%	R43, R44, R45	0603_R	3
20KΩ (2002) ±1%	R46, R47	0603_R	2
R005	RS1	2512-ISEN	1
AT103_3435	RT1	HDR1X2	1
SW-DPDT	S1	DIP-6	1
PT6010_LQFP32	U1	LQFP-32L	1
Zener_47V	NC_D3		1
金属连接器	P5, P10		2
11P 连接器	P4		1

5. 关键元件参数设计

5.1 VCx 输入电阻和电容的选择

VCx 输入电阻选择与均衡有关,采用外部均衡时,VCx 的输入电阻推荐使用 1KΩ;采用内部均衡时,VCx 的输入电阻值推荐大于 50Ω。VC1~VC10 的输入电阻需要选择一样的阻值。

输入电容与输入电阻构成 RC 滤波电路,以抑制 VCx 引脚的尖峰脉冲。VC1~VC7 推荐使用 47~220nF/50V 的 X7R 陶瓷电容。VC8~VC10 的输入电容工作在较高的直流偏置电压下,若使用 50V 耐压的陶瓷电容,其实际有效容值下降,推荐使用 100V 耐压的陶瓷电容。

5.2 VCC 的输入电阻和输入电容的选择

VCC 需从最高一节电池取电,且输入电阻需尽量小,推荐的电阻值为 200Ω。

VCC 输入端的二极管和电容可以在电池包电压瞬间掉电时维持芯片正常工作。输入电容推荐使用 4.7μF/100V 和 100nF/100V 的陶瓷电容并联。

5.3 LDO 输出电容的选择

LDO 输出 VREF 的输出电容推荐使用 100nF~1μF/16V 的陶瓷电容。该 LDO 输出电流能力较弱,不推荐作为 LED 的驱动电源。LED 的驱动电源可通过 Source Follow 从 P+取电。

5.4 电流采样电阻 Rcs 的选择

Rcs 决定了电池包过流保护的电流阈值和短路保护的电流阈值。

$$I_{\text{DOC1}} = \frac{V_{\text{DOC1}}}{R_{\text{CS}}}; I_{\text{DOC2}} = \frac{V_{\text{DOC2}}}{R_{\text{CS}}}; I_{\text{SC}} = \frac{V_{\text{SC}}}{R_{\text{CS}}}; I_{\text{COC}} = \frac{V_{\text{COC}}}{R_{\text{CS}}}$$

Rcs 需选择合适的封装,以防止电池包大电流放电或短路时 Rcs 在触发过流保护之前烧断。

R_{CS} 采样的电压需经 RC 滤波后再到 CS 引脚,以防止异常事件引起的干扰使 CS 引脚发生误判。采样电阻两端的电压检测推荐使用开尔文连接,以降低寄生参数的影响。

5.5 温度保护阈值的设置

温度检测电路如图 4。温度感应电阻为 NTC 的 103AT(B=3435)。

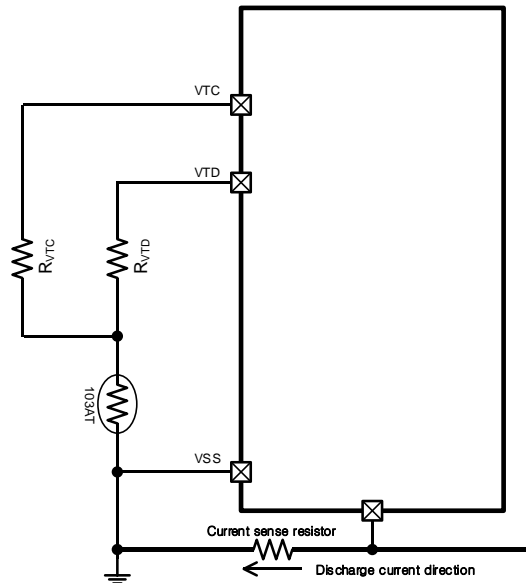


Fig. 4 温度检测电路

5.4.1 放电过温保护阈值 (T_{DOT}) 的设定

T_{DOT} 由 R_{VTD} 设定。

$$R_{VTD} = 9 \times R_{DOT}$$

其中, R_{DOT} 为 NTC 的 103AT 与 T_{DOT} 对应的阻值。

例如:

$T_{DOT}=65^{\circ} \text{C}$, $R_{DOT}=2.588\text{K}\Omega$, 则 $R_{VTD}=23\text{K}\Omega$;

$T_{DOT}=70^{\circ} \text{C}$, $R_{DOT}=2.228\text{K}\Omega$, 则 $R_{VTD}=20\text{K}\Omega$;

$T_{DOT}=75^{\circ} \text{C}$, $R_{DOT}=1.924\text{K}\Omega$, 则 $R_{VTD}=17\text{K}\Omega$;

5.4.2 充电过温保护阈值 (T_{COT}) 和充电低温保护阈值 (T_{CUT}) 的设定

T_{COT} 和 T_{CUT} 由 R_{VTC} 设定。

$$R_{VTC} = 4.75 \times R_{COT}$$

$$R_{CUT} = 7.125 \times R_{COT}$$

其中, R_{COT} 为 NTC 的 103AT 与 T_{COT} 对应的阻值, R_{CUT} 为 NTC 的 103AT 与 T_{CUT}

对应的阻值。

例如：

$T_{COT}=45^{\circ}\text{C}$, $R_{COT}=4.911\text{K}\Omega$, 则 $R_{VTC}=23\text{K}\Omega$, $R_{CUT}=34.5\text{K}$ 对应 $T_{CUT}=-5.5^{\circ}\text{C}$;

$T_{COT}=50^{\circ}\text{C}$, $R_{COT}=4.16\text{K}\Omega$, 则 $R_{VTC}=20\text{K}\Omega$, $R_{CUT}=30\text{K}$ 对应 $T_{CUT}=-2^{\circ}\text{C}$;

5.4.3 取消 DOT/COT/CUT 功能

用 $20\text{K}\Omega$ 的电阻替代温度感应电阻则不会触发 DOT/COT/CUT 功能。

5.4.4 只取消 CUT 功能

用 $51\text{K}\Omega$ 的电阻与温度感应电阻并联则不会触发 CUT 功能。

5.6 延迟时间的设置

过充电保护延迟时间 (T_{COV}) 由电压检测周期 (T_{TDET}) 决定, 为 1~2 个 T_{TDET} , 外部无法调整。

过放电保护延迟时间 (T_{CUV}) 可通过外部引脚 SUVT 配置。SUVT=VSS, T_{CUV} 为 3~4 个 T_{TDET} ; SUVT 悬空, T_{CUV} 为 6~8 个 T_{TDET} ; SUVT=VREF, T_{CUV} 为 12~16 个 T_{TDET} 。

当 EN_N=VREF 时, 芯片允许进入休眠, 进入休眠的延迟时间为 8 个 T_{CUV} 。

1 级放电过流保护延迟时间 (T_{DOC1}) 可通过外部引脚 SOC1T 配置。SOC1T=VSS, T_{DOC1} 为 1s; SUVT 悬空, T_{DOC1} 为 2s; SUVT=VREF, T_{DOC1} 为 4s。

2 级放电过流保护延迟时间 (T_{DOC2}) 可通过外部引脚 SOC2T 配置。SOC2T=VSS, T_{DOC2} 为 100ms; SOC2T 悬空, T_{DOC2} 为 200ms; SOC2T=VREF, T_{DOC2} 为 400ms。

短路保护延迟时间 (T_{SC}) 为固定的 $250\mu\text{s}$ (典型值)。

充电过流保护延迟时间 (T_{COC}) 为固定的 10ms。

5.7 电池串联数的配置

电池串联数可通过 SEL 引脚配置。SEL=VSS, 配置为 10 串; SEL 悬空, 配置为 9 串, VC9 与 VC10 直接连接; SEL=VREF, 配置为 8 串, VC8、VC9 与 VC10 直接连接。

5.8 均衡电流的设置

PT6010 内置 300Ω 左右的均衡电阻。当选择内置均衡时, 均衡电流受 VCx 的输入电阻和均衡电阻影响。

当选择外置均衡时, VCx 的输入电阻一般选择 $1\text{K}\Omega$ 。当内置均衡开启时, 外部

均衡三极管开启，均衡电流由三极管的电流放大能力和外部均衡电阻决定。

需要注意的是，与 VC1 内置均衡电阻串联的外部输入电阻只有 1 个，与 VC2~VC10 内置均衡电阻串联的外部输入电阻有 2 个，均衡电流会不一样。特别是采用外部均衡时，需要调整 VC1 的外部均衡电阻才能使 VC1 的均衡电流和 VC2~VC10 一致。

PT6010 采用奇偶分时均衡策略，每个电压检测周期的前半段进行奇数节数的均衡，后半段进行偶数节数的均衡。故实际的平均均衡电流只有计算值的一半。

PT6010 均衡启动和结束的算法参考 Datasheet 描述。

需要特别注意的是，外部均衡开关使用 MOSFETs 时需均衡开关 MOSFETs 的 gate 和 source 增加钳位二极管。

5.9 充放电 MOSFETs 的选择

PT6010 支持使用充放电同口或异口的 N 型 MOSFETs 应用。

在电动自行车应用中，充放电 MOSFETs 的选择需要考虑较多的因素。

首先，电动自行车应用中 MOSFETs 允许的温升较低，MOSFETs 的选择需要考虑 $R_{DS(on)}$ 、封装和散热条件。一般推荐使用散热较好的 TO-262 或 TO-220 封装，并搭配散热片使用。

其次，放电 MOSFETs 的开关速度。放电 MOSFETs 的开启速度受驱动的输出电流能力和放电 MOSFETs 的米勒电容影响，关闭速度受驱动的吸收电流能力和放电 MOSFETs 的米勒电容影响。MOSFET 的开关速度过慢，在 PWM 控制时开关损耗较大，容易引起 MOSFETs 发热。需要注意的是，在使用大封装的 MOSFETs 时，由于 MOSFETs 内部的寄生感抗较大，过快的开关速度会在寄生感抗上引起较大的电流变化，产生反向电动势，导致 MOSFETs 误开或者误关。特别是触发短路保护时 MOSFETs 误开会使得 MOSFETs 在极短的时间内积累大量热量而使 MOSFETs 烧毁。

然后，功率型 MOSFET 有个参数叫做 E_{AS} ，在 MOSFET 驱动感性负载时需要考虑。电动自行车的电机都是感性负载，在放电 MOSFETs 关闭时，电机存储的能量会反冲到放电 MOSFETs 的 Drain 端，使 Drain 端的电压一直升高，直到超过 VDS 的击穿电压，使 VDS 击穿并吸收能量。放电 MOSFETs 关闭时，电机的电流越大，存储的能量就越大，光靠 MOSFET 的 E_{AS} 吸收是完全不够的，一般会在放电端口并联快恢复二极管和陶瓷电容来辅助吸收。放电 MOSFETs 的源极和漏极之间并联陶瓷电容也可以吸收一部分电机的反冲能量。然而，在放电端口发生短路时，电池包的输出电

流极大，由于封装和板级的寄生参数的影响，靠电容和二极管来不及吸收全部的能量，MOSFETs 的 E_{AS} 还需要吸收一部分能量。此时就需要更多的 MOSFETs 并联去增大 E_{AS} 。

放电 MOSFET 的驱动可通过 LSW 引脚控制。当 LSW 接地时，放电 MOSFET 的状态由芯片控制，当 LSW 悬空时，放电 MOSFET 被关闭。

5.10 充电 MOSFET 驱动 CDRV 的连接

CDRV 不能耐高压，应用上需要接二极管防反。

5.11 低功耗模式的连接

PT6010 支持两种低功耗模式，关断模式和休眠模式，是通过 EN_N 三态连接实现的。当 EN_N 接 VSS 时，芯片处于正常工作模式；当 EN_N 接 VREF 时，芯片处于允许进入休眠模式，在只检测到欠压时会在计时后进入休眠；当 EN_N 悬空时，芯片处于关断模式。在不同的应用场景下，用户可以根据需要选择不同的连接方式。

6. PCB Layout 注意事项

6.1 主功率线径宽度需满足放电过电流阈值的要求，以免温度过高。

6.2 充放电 MOSFETs 的热沉需连接到较大的敷铜，以帮助 MOSFETs 散热。

6.3 电流感应信号与 GND 需使用差分连接，且 CS 引脚的 RC 滤波电路需靠近芯片 CS 引脚。

6.4 VCx 和 VCC 的输入电阻和输入电容需靠近芯片摆放。

6.5 芯片的地尽量使用独立完整的敷铜，并单点连接到电池包的地，以减小寄生参数的影响。

6.6 芯片的信号线尽量远离 PCB 的板边。

6.7 采样芯片内部均衡时，VC1 会有 mA 级的均衡电流从 VSS 流过，对电流采样精度产生影响。除此之外，对 VREF 抽取电流，通过报警信号控制 LED 灯，充放电 MOSFETs 驱动吸收和驱动电流等，都会在 VSS 上产生较大的电流，故 VSS 到 B0 的连接需要有足够低的连接路径，以降低该均衡电流产生的影响。采用外部均衡时，VC1 的均衡电流路径尽量靠近 B0 和 B1。

7 应用注意事项

7.1 PT6010 的电压检测引脚 VCx 都可以耐高压，支持乱序上电。但芯片的低压引脚不能碰到高压信号，以防止芯片引脚被击穿而漏电。

7.2 温度感应电阻的感应端子需紧贴最中间的电芯表面，以保证能够检测到电芯的最高表面温度。

- 7.3 PT6010 从 VCx 抽取微弱的电流以检测断线保护，但 VCx 的输入电容不能过大，否则该电流将 VCx 的电压抽取到触发断线保护的时间将会拉长。
- 7.4 BCL 可通过接 VSS 或接 VREF 来禁止均衡或改变均衡算法，但是不能接中间电位，否则会发生漏电。
- 7.5 CS 引脚是低压引脚，不支持直接采样放电 MOSFETs 内阻的应用，但可通过增加外围器件的方式实现。此时芯片的 COC 功能需要 Disable，否则在放电 MOSFETs 关闭时充电，芯片会在 CS 引脚检测到放电 MOSFETs 体二极管压降而一直处于 COC 状态。
- 7.6 放电 MOSFETs 的 gate 和 source 最好并联一个 10MΩ 的电阻，当 DDRV 的输出电阻发生开路时可以将放电 MOSFETs 维持在关断状态。
- 7.7 为了增大 CDRV 的驱动能力而使用较小的 CDRV 输出电阻时，充电 MOSFETs 的 gate 和 source 最好并联稳压二极管，以防止充电器插入瞬间在充电 MOSFETs 的 gate 和 source 出现高压。
- 7.8 LSW 引脚支持 PWM 控制和 SC 之外的放电保护事件恢复。
- 7.9 从检测到充电过流到关闭充电 MOSFETs 驱动的延迟时间是 T_{COC} ，但从关闭充电 MOSFETs 驱动到充电 MOSFETs 完全关闭还有一段延迟时间。因为，充电 MOSFETs 驱动关闭后是高阻状态，充电 MOSFETs 关闭是靠栅源极之间并联的电阻将栅源极之间寄生电容的存储电荷放空来实现的。故从驱动关闭到 MOSFETs 关闭的延迟时间是由该电阻和 C_{gs} 决定的，大概为该时间常数的 2 倍。
- 7.10 本 Demo 可设置成 8 节和 9 节串联的电池包保护板。
- 7.11 本 Demo 可设置成充电同口，充电异口的应用。