

LS76935 6 至 14 串 BMS 模拟前端芯片手册

1. 器件特征

➤ 采集功能

- 6 至 14 串电池电压监测和电池总压测量
- 内部 14 位 ADC 测量电池电压、芯片温度和外部热敏电阻
- 单独的 16 位 ADC 测量电池组电流（库仑计）
- 支持 2 个热敏电阻测量（10K/100K）

➤ 保护功能

- 充电过流保护（OCC）
- 两级放电过流保护（OCD1/OCD2）
- 放电短路保护（SCD）
- 过压和欠压保护（OV/UV）
- 高温过温和低温欠温保护（OT/UT）

➤ MOS 驱动

- 集成低侧充电（CHG）和放电（DSG）的 MOS 驱动器
- 集成可配预充电或预放电（PCDG）的 MOS 驱动器
- FETOFF 引脚支持 PWM 模式输入控制放电管（DSG）MOS，也支持 MCU 通过 IO 控制快速关断放电管（DSG）MOS 和预放电管（PCDG）MOS

➤ 三种从 SHIP 模式到正常工作模式唤醒功能

- 支持 MCU 通过 I2C 唤醒
- 支持 TS1 引脚唤醒
- 支持 CHGD 引脚充电器接入唤醒

➤ 其它

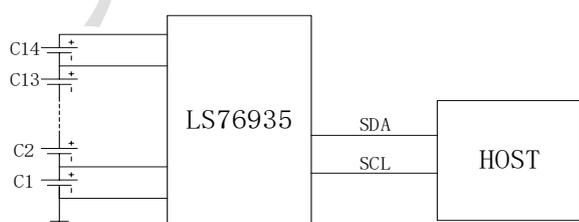
- 支持电芯乱序上电
- 内置电池均衡开关
- 支持均衡看门狗
- 支持自主控制 MOS（小电流信号唤醒后，芯片可以自主打开充电管（CHG）或放电管（DSG）MOS，同时触发 ALERT 唤醒主机）
- 支持负载在线状态检测（CHG 引脚）
- 支持充电器在线状态检测（CHGD 引脚）
- 到主机 MCU 的警报中断（ALERT 引脚）
- 支持 MCU 通过 I2C 命令或 IO 控制 SHUTDN 引脚两种方式控制芯片进入 SHIP 模式
- 支持两种外部供电 LDO 输出 2.5V/3.3V（最大输出电流 50mA）（REGOUT 引脚）
- I2C 兼容接口（循环冗余校验（CRC8）选项），集成可配 I2C 看门狗功能
- 7mm×7mm LQFP48 封装

2. 器件概述

LS76935 是一款稳健耐用型模拟前端（AFE）器件通常用作针对下一代高功率系统（例如户外电源、电动工具和无线吸尘器）的完整电池组监控和保护解决方案的一部分。LS76935 在设计时充分考虑了低功耗要求，不仅可通过使能/禁用集成电路（IC）中的子模块来控制整个芯片的电流消耗，而且还可以利用 SHIP 模式将电池组轻松切换至超低功耗状态（8uA 电流）。

LS76935 器件支持多达 14 节串联电池组，AFE 可用于管理各种化学成分的电池，例如三元锂、磷酸铁锂等等。通过 I2C，主机控制器可以使用 LS76935 来执行很多电池组管理功能，诸如监视（电池电压、电池组电流、电池组温度），保护（控制充电/放电 FET）以及均衡功能。芯片内集成的模数（A/D）转换器可实现对关键系统参数的纯数字读取。

3. 简化系统图



无人机
户外电源
电动工具
无线吸尘器
备电或储能系统

目录

1.	器件特征	1
2.	器件概述	1
3.	简化系统图	1
4.	修订历史记录	5
5.	引脚分布及定义	6
	5.1 引脚分布.....	6
	5.2 引脚定义.....	6
6.	电池组接线及典型应用	9
	6.1 接线说明.....	9
	6.2 典型应用.....	11
7.	参数指标	12
	7.1 极限工作参数.....	12
	7.2 推荐工作参数.....	13
	7.3 电气指标.....	13
	7.3.1 上电及功耗.....	14
	7.3.2 电压 ADC 指标.....	14
	7.3.3 电流 ADC 指标.....	15
	7.3.4 自主 MOS 控制（小电流信号唤醒）指标.....	15
	7.3.5 热敏电阻偏置电阻指标.....	15
	7.3.6 芯片内部温度指标.....	16
	7.3.7 均衡指标.....	16
	7.3.8 MOS 驱动指标.....	16
	7.3.9 硬件保护功能指标.....	16
	7.3.10 REGOUT LDO 指标.....	18
	7.3.11 CAP1 LDO 指标.....	18
	7.3.12 CAP2 LDO 指标.....	18
	7.3.13 充电器在线检测指标.....	18
	7.3.14 负载在线检测指标.....	19
	7.3.15 TS1 引脚激活指标.....	19
	7.3.16 数字接口功能指标.....	19
	7.3.17 I2C 接口指标及时序图.....	20
8.	功能描述	21
	8.1 系统框图.....	21
	8.2 芯片工作模式.....	22
	8.2.1 SHIP 模式.....	22
	8.2.2 正常工作模式.....	22
	8.2.3 SHIP 模式转移到正常工作模式.....	22
	8.2.4 正常工作模式转移到 SHIP 模式.....	22
	8.3 芯片上下电.....	22

8.4 芯片功能模块	23
8.4.1 REGOUT LDO 输出模块	23
8.4.2 电压采集 ADC	23
8.4.3 电流采集 ADC	24
8.4.4 均衡模块	25
8.4.5 MOS 驱动模块	25
8.4.6 硬件保护功能	27
8.4.7 唤醒功能	27
8.4.8 负载在线检测功能	28
8.4.9 FETOFF 引脚功能	28
8.4.10 SHUTDN 引脚功能	29
8.4.11 ALERT 引脚功能	29
8.4.12 I2C 通信及看门狗功能	29
9. 寄存器描述	31
9.1 寄存器列表	31
9.1.1 I2C 寄存器列表	31
9.1.2 UART 寄存器列表	33
9.2 I2C 寄存器详细说明	34
9.2.1 SYS_STAT (0x00) 状态寄存器	34
9.2.2 CELLBAL1 (0x01) 和 CELLBAL2 (0x03) 均衡使能控制寄存器	34
9.2.3 SYS_CTRL1 (0x04) 控制寄存器	35
9.2.4 SYS_CTRL2 (0x05) 控制寄存器	36
9.2.5 PROTECT1 (0x06) OV/UV 保护延时寄存器	36
9.2.6 PROTECT2 (0x07) 和 OV_TRIP (0x09) 过压 (OV) 保护阈值寄存器	37
9.2.7 PROTECT3 (0x08) 和 UV_TRIP (0x0A) 欠压 (UV) 保护阈值寄存器	37
9.2.8 电池电压和电池总压读数寄存器	37
9.2.9 温度数据寄存器	39
9.2.10 CC_HI (0x32) 和 CC_LO (0x33) 电流数据寄存器	39
9.2.11 SYS_STAT2 (0x40) 状态寄存器	40
9.2.12 ST2_ALERT_MASK (0x41) 屏蔽 ALERT 引脚输出中断信号控制寄存器	40
9.2.13 ST_FETC_MASK (0x42) 屏蔽 FET 管关断控制寄存器	41
9.2.14 ST2_FETC_MASK (0x43) 屏蔽 FET 管关断控制寄存器	42
9.2.15 芯片外部温度和内部温度 OT/UT 保护阈值设置寄存器	43
9.2.16 OT_DELAY (0x4D) 和 UT_DELAY (0x4E) OT/UT 温度保护延时设置寄存器	44
9.2.17 BALANCE_WTD (0x52) 均衡看门狗寄存器	44
9.2.18 I2C_WTD (0x53) I2C 看门狗寄存器	45
9.2.19 ADC_MODE (0x54) 电压 ADC 采样间隔周期设置寄存器	45
9.2.20 VERSION (0x56) 芯片版本信息寄存器	46
9.2.21 INTF_CTRL (0x58) 控制寄存器	46
9.2.22 电流保护比较阈值和延时设置寄存器	47
9.2.23 MAGIC_NUM0 (0x6A) 和 MAGIC_NUM1 (0x6B) 特殊寄存器访问权限配置寄存器	48
9.2.24 UART 读写操作寄存器	48
9.2.25 CCMODE (0x80) 电流 ADC 过采样控制寄存器	49
9.2.26 SENSE_CTRL (0x85) 小电流信号唤醒功能控制寄存器	49

9.2.27	小电流信号唤醒阈值设置寄存器.....	50
9.2.28	REGA_CFG_BOT_CAP (0x92) CAP1 LDO 输出电压配置寄存器.....	50
9.2.29	REGA_CFG_BOT_CA (0x94) BOT CA 运放电流配置寄存器.....	50
9.2.30	RES_TS1_BAIS (0x95) TS1 引脚内部上拉电阻配置寄存器.....	51
9.2.31	CC_ADC_LP (0xA1) 电流 ADC 偏置电流调节寄存器.....	51
9.2.32	FETDRV_CTRL1 (0xA5) 和 FETDRV_CTRL2 (0xA6) 负载在线状态检测和 FETOFF 控制寄存器.....	51
9.3	UART 寄存器详细说明.....	52
9.3.1	REGA_CFG_TOP_CAP (0x32) CAP2 LDO 电压配置寄存器.....	52
9.3.2	REGA_CFG_TOP_CA (0x34) TOP CA 运放电流配置寄存器.....	52
9.3.3	RES_TS2_BIAS (0x35) TS2 引脚内部上拉电阻配置寄存器.....	53
10.	封装尺寸.....	54

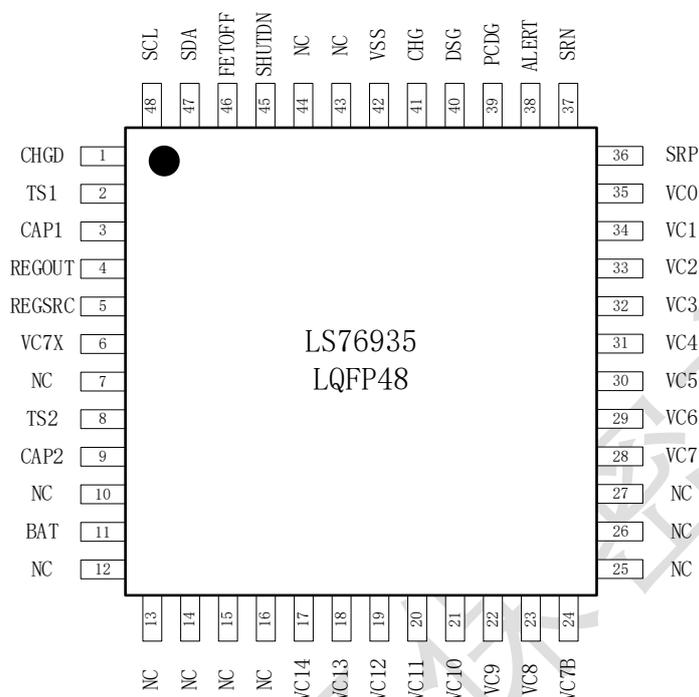
4. 修订历史记录

备注：以前版本的页码可能与当前版本的页码不同。

版本	内容	作者	时间
V1.0	1. 初始版本。	胡工 黄工 张工	2022-06-01
V2.0	1. 增加不同串数电池的应用接线说明。	胡工	2022-12-10
V2.1	1. 增加负载检测内部下拉电阻及负载检测阈值电压配置。 2. 增加 FETOFF 引脚输入模式选择。	胡工	2023-02-20
V2.2	1. 添加规格参数测试条件和更新部分指标数据。 2. 优化排版布局和书写格式。 3. 优化功能模块描述及添加部分功能使用注意事项。 4. 添加电压，电流，温度及相关保护阈值设置应用示例。 5. 新增部分寄存器，以及更正部分寄存器描述。	聂工	2023-06-30
V2.3	1. 更新芯片内部和外部的 OT, UT 参考示例的阈值。 2. 更正 I2C 寄存器列表中的 INTF_CTRL (0x58) 寄存器的 D2-D0 位顺序。 3. 更新电池组接线说明表和接线示意图。 4. 更正 CELLBAL2 寄存器的地址。	聂工	2023-07-03

5. 引脚分布及定义

5.1 引脚分布



7mm×7mm LQFP48 封装

5.2 引脚定义

引脚编号	引脚名称	类型	引脚描述
1	CHGD	输入	充电器在线检测引脚，通过 100K 电阻与 pack- 连接；此引脚电压若为负电压则说明检测到充电器在线，此引脚电压为正电压则没有检测到充电器在线。
2	TS1	输入	此引脚电压高于一定阈值，芯片将从 SHIP 模式唤醒进入正常工作模式；在正常工作模式下此引脚也用于连接#1 热敏电阻，测量外部温度， 接 0.1uF 滤波电容。 ①
3	CAP1	输出	给芯片内部模拟模块使用的 LDO 输出脚， 接 1uF 滤波电容。
4	REGOUT	电源	2.5V 或 3.3V LDO 输出引脚，给芯片内部 I2C 模块供电，也可以给外围其他模块供电。最大驱动能力 50mA， 接 4.7uF 滤波电容。
5	REGSRC	电源	REGOUT LDO 的输入电源
6	VC7X	电源	芯片电源引脚，接第 7 节电池正端
7	NC	—	悬空
8	TS2	输入	用于连接#2 热敏电阻，测量外部温度， 接 0.1uF 滤波电容。 ①

引脚编号	引脚名称	类型	引脚描述
9	CAP2	输出	给芯片内部模拟模块使用的 LDO 输出脚，接 1uF 滤波电容。
10	NC	—	悬空
11	BAT	电源	全芯片的输入电源，接最高节电池正端
12	NC	—	悬空
13	NC	—	悬空
14	NC	—	悬空
15	NC	—	悬空
16	NC	—	悬空
17	VC14	输入	连第 14 节电池正端
18	VC13	输入	连第 13 节电池正端
19	VC12	输入	连第 12 节电池正端
20	VC11	输入	连第 11 节电池正端
21	VC10	输入	连第 10 节电池正端
22	VC9	输入	连第 9 节电池正端
23	VC8	输入	连第 8 节电池正端
24	VC7B	输入	连第 8 节电池负端
25	NC	—	悬空
26	NC	—	悬空
27	NC	—	悬空
28	VC7	输入	连第 7 节电池正端
29	VC6	输入	连第 6 节电池正端
30	VC5	输入	连第 5 节电池正端
31	VC4	输入	连第 4 节电池正端
32	VC3	输入	连第 3 节电池正端
33	VC2	输入	连第 2 节电池正端
34	VC1	输入	连第 1 节电池正端
35	VC0	输入	连第 1 节电池负端
36	SRP	输入	库伦计的正输入端（接近芯片地 VSS）
37	SRN	输入	库伦计的负输入端
38	ALERT	输入/输出	芯片的警报输出和外部的警报输入，可以连 MCU 的 IO 处理芯片的警报输出，也可以连接外部的二次保护信号，做警报输入让芯片识别外部是否有故障发生。
39	PCDG	输出	预放电或预充电 MOS 驱动器的输出
40	DSG	输出	放电 MOS 驱动器的输出
41	CHG	输出	充电 MOS 驱动器的输出
42	VSS	—	芯片地
43	NC	—	悬空
44	NC	—	悬空
45	SHUTDN	输入	引脚为高电平将使芯片从正常工作模式进入最低功耗 SHIP 模式；引脚为低电平并不会使得芯

引脚编号	引脚名称	类型	引脚描述
			片从 SHIP 模式进入正常工作模式；接 1uF 滤波电容。
46	FETOFF	输入	通过寄存器可配置成 DSG 引脚的控制信号；引脚为高电平将快速拉低放电 MOS 管（DSG）和预放电 MOS 管（PCDG）的引脚电压，该引脚还可配置为 PWM 模式，来控制 DSG 引脚输出。
47	SDA	输入/输出	I2C 数据线
48	SCL	输入	I2C 时钟线

① 如果未使用，需下拉至对应的参考地（TS1 参考 VSS，TS2 参考 VC7X），标称电阻为 10k Ω 。

注意：

- (1) 所有 NC 脚外部不能有电气连接。
- (2) CAP1, CAP2 引脚除了外接滤波电容，不能接其他任何负载。
- (3) PCDG 驱动 MOS 管栅极与源极之间建议最少接 510K 以上电阻，避免电阻过小 MOS 驱动电平达不到 MOS 管开启阈值。

6. 电池组接线及典型应用

6.1 接线说明

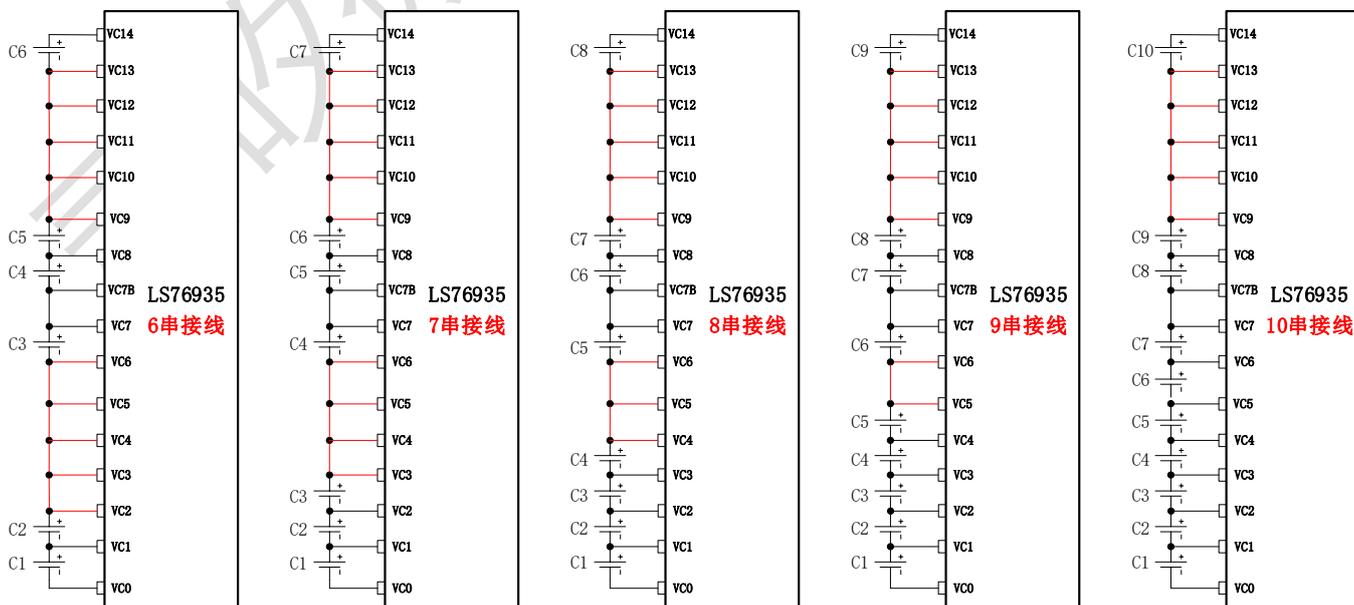
LS76935 芯片支持 6 至 14 串电池组应用，用户可根据实际应用来配置，具体可参考表 6-1 进行接线配置。

表 6-1 6 至 14 串电池组接线说明

电池输入端口	6 串电池组	7 串电池组	8 串电池组	9 串电池组	10 串电池组	11 串电池组	12 串电池组	13 串电池组	14 串电池组
VC14-VC13	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
VC13-VC12	短接	短接	短接	短接	短接	短接	短接	短接	C13
VC12-VC11	短接	短接	短接	短接	短接	短接	短接	C12	C12
VC11-VC10	短接	短接	短接	短接	短接	短接	C11	C11	C11
VC10-VC9	短接	短接	短接	短接	短接	C10	C10	C10	C10
VC9-VC8	C5	C6	C7	C8	C9	C9	C9	C9	C9
VC8-VC7B	C4	C5	C6	C7	C8	C8	C8	C8	C8
VC7-VC6	C3	C4	C5	C6	C7	C7	C7	C7	C7
VC6-VC5	短接	短接	短接	短接	C6	C6	C6	C6	C6
VC5-VC4	短接	短接	短接	C5	C5	C5	C5	C5	C5
VC4-VC3	短接	短接	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4
VC3-VC2	短接	C3	C3	C3	C3	C3	C3	C3	C3
VC2-VC1	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2
VC1-VC0	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1

注意：

(1) 部分电池输入 VC 端口未使用时，须按照上述表格进行接线配置。



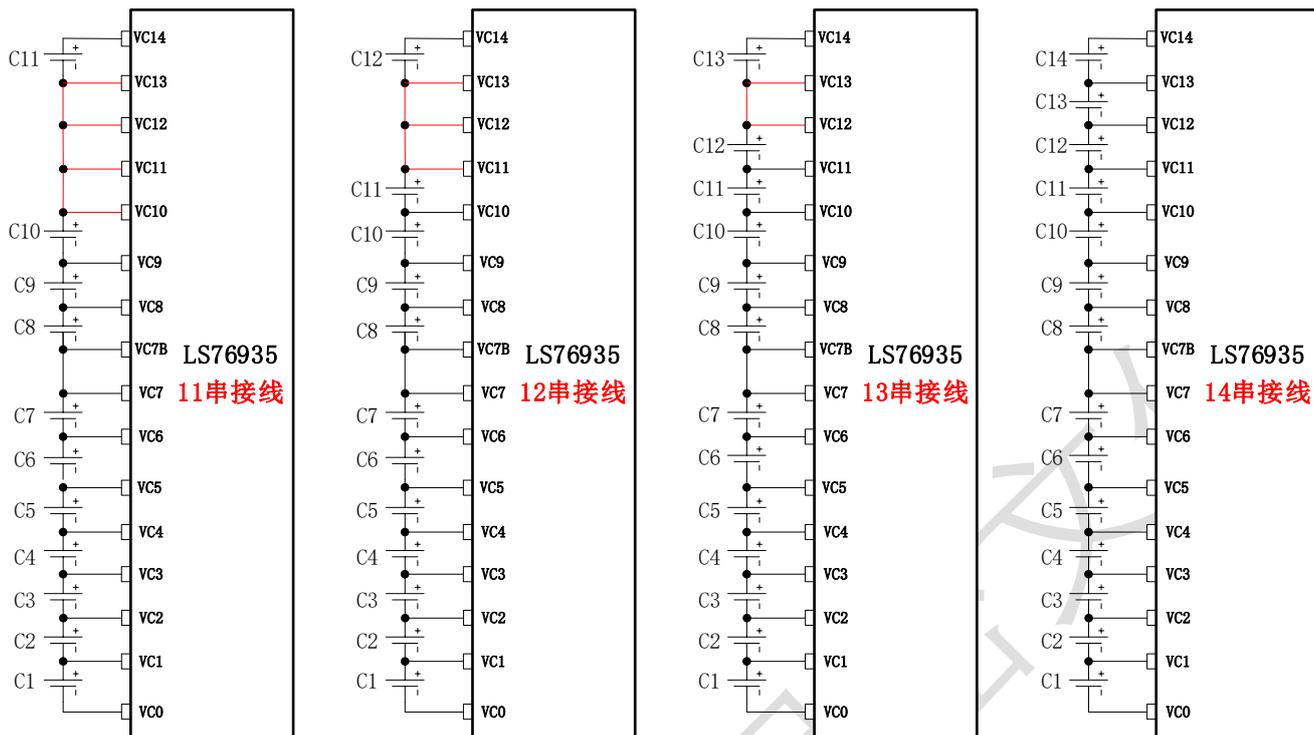


图 6-1 6 至 14 串电池组接线示意图

7. 参数指标

7.1 极限工作参数

以下测试值均在-40°C 到+85°C 正常工作温度范围测试（除非有特殊说明）。

符号	参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
V _{BAT}	BAT 脚供电电压	BAT-VC7X	-0.3		42	V
V _{VC7X}	VC7X 脚供电电压	VC7X-VSS	-0.3		42	V
V _{VC7B}	VC7B 脚电压	VC7B-VSS	-0.3		42	V
V _{REGSRC}	REGSRC 脚供电电压	REGSRC-VSS	-0.3		42	V
V _{CELL}	电池输入电压	VC(n)-VC(n-1) n=1, 2...14	-0.3		42	V
	第 1 串电池负端电压	VC0-VSS	-0.3		5.5	V
V _{CAP1}	CAP1 LDO 电压	CAP1-VSS	-0.3		5.5	V
V _{CAP2}	CAP2 LDO 电压	CAP2-VC7X	-0.3		5.5	V
V _{REGOUT}	REGOUT LDO 电压	REGOUT-VSS	-0.3		5.5	V
I _{REGOUT}	REGOUT LDO 输出电流		0		50	mA
V _{DSG}	放电 MOS 驱动电压	DSG-VSS	-0.3		20	V
V _{CHG}	充电 MOS 驱动电压	CHG-VSS	-0.3		20	V
V _{PCDG}	预放电或预充电 MOS 驱动电压	PCDG-VSS	-0.3		20	V
I _{DSG}	放电 MOS 驱动电流		2			mA
I _{CHG}	充电 MOS 驱动电流		2			mA
I _{PCDG}	预放电或预充电 MOS 驱动电流		0.4			mA
V _{SRP}	电流采样差分输入 P 端	SRP-VSS	-0.3		5.5	V
V _{SRN}	电流采样差分输入 N 端	SRN-VSS	-0.3		5.5	V
V _{CHGD}	充电器检测接口电压	CHGD-VSS	-0.3		5.5	V
V _{TS1}	温度采样接口#1	TS1-VSS	-0.3		5.5	V
V _{TS2}	温度采样接口#2	TS2-VC7X	-0.3		5.5	V
V _{DIGITAL}	SHIP 模式进入接口	SHUTDN-VSS	-0.3		5.5	V
	MOS 快速关断接口	FETOFF-VSS	-0.3		5.5	V
	I2C 通信数据接口	SDA-VSS	-0.3		5.5	V
	I2C 通信时钟接口	SCL-VSS	-0.3		5.5	V
	ALERT 警报输入输出接口	ALERT-VSS	-0.3		5.5	V
T _A	芯片工作温度		-40		85	°C
T _{STG}	芯片存储温度		-40		150	°C
V _{ESD}	HBM ESD 电压 ①	人体放电模型 (HBM), 符合 ANSI/ESDA/JEDEC JS-001-2017, 所有引脚		±1500		V
	CDM ESD 电压 ②	带电器件模型 (CDM), 符合 ANSI/ESDA/JEDEC JS-002-2018, 所有引脚		±1250		V
I _{Latch-up}	Latch-up 电流测试	符合 JEDEC78E 测试标准, 与 MCU 相关的引脚 ③			±200	mA
θ _{JA}	芯片热阻		46.4	52.4	72.2	°C/W

- ① JEDEC 文件 JEP155 指出，500-V HBM 允许使用标准 ESD 控制工艺进行安全制造。
- ② JEDEC 文件 JEP157 指出，250-V CDM 允许使用标准 ESD 控制工艺进行安全制造。
- ③ 与 MCU 相关的引脚包括：SHUTDOWN, FETOFF, ALERT, SCL, SDA, TS1, TS2。

7.2 推荐工作参数

典型值在 25°C 下测量，其中 $V_{BAT} = 42V$, $V_{CELL} = 3V$, 电压 ADC 和电流 ADC 采样周期 = 250ms。最小值和最大值在 -40°C 到 +85°C 温度范围内测量。某些特性可能在不同的电压和温度下测试，具体在测试条件部分说明。

符号	参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
V_{BAT}	BAT 引脚供电电压	BAT-VC7X	6		35	V
V_{VC7X}	VC7X 引脚供电电压	VC7X-VSS	6		35	V
V_{VC7B}	VC7B 引脚电压	VC7B-VSS	6		35	V
V_{REGSRC}	REGSRC 引脚供电电压	REGSRC-VSS	6		35	V
V_{CELL}	电池输入电压	VC(n)-VC(n-1) n=1, 2...14	2		5	V
	第 1 串电池负端电压	VC0-VSS	-10		10	mV
V_{SR}	电流采样差分输入	SRP-SRN	-0.2		0.2	V
T_{TS1}	温度采样接口#1	TS1-VSS	0		V_{CAP1}	V
T_{TS2}	温度采样接口#2	TS2-VC7X	0		V_{CAP2}	V
$V_{DIGITAL}$	SHIP 模式进入接口	SHUTDOWN-VSS	0		V_{REGOUT}	V
	MOS 快速关断接口	FETOFF-VSS	0		V_{REGOUT}	V
	I2C 通信数据接口	SDA-VSS	0		V_{REGOUT}	V
	I2C 通信时钟接口	SCL-VSS	0		V_{REGOUT}	V
	ALERT 警报输入输出接口	ALERT-VSS	0		V_{REGOUT}	V
R_c	电压采样滤波电阻			470		Ω
C_{CO}	VC0 引脚滤波电容	VC0-VSS		10		μF
	VC7B 引脚滤波电容	VC7B-VC7X				
C_{CI}	VC1 至 VC14 的滤波电容			2.2		μF
R_f	电源输入滤波电阻 ①			100		Ω
C_f	电源输入滤波电容	VC7X-VSS		2.2		μF
C_{CAP1}	CAP1 引脚滤波电容	CAP1-VSS		1		μF
C_{CAP2}	CAP2 引脚滤波电容	CAP2-VC7X		1		μF
C_{REGOUT}	REGOUT 引脚滤波电容	REGOUT-VSS		4.7		μF
I_{CB}	内部均衡电流 ②	$V_{CELL}=4V, R_c=470\Omega$			5	mA
T_A	芯片工作温度		-40		85	$^{\circ}C$
T_{STG}	芯片存储温度			25		$^{\circ}C$

- ① 电源输入滤波电阻 R_f 推荐使用 0805 及以上封装。
- ② 芯片的内部均衡电流最大支持 20mA，推荐内部均衡电流在 5mA 以内，具体用户可根据电池电压 V_{CELL} 和 R_c 的取值计算，另外，推荐使用外部均衡来获得更大的均衡电流。

7.3 电气指标

典型值在 25°C 下测量，其中 $V_{BAT} = 42V$, $V_{CELL} = 3V$, 电压 ADC 和电流 ADC 采样周期 = 250ms。最小值和最大值在 -40°C 到 +85°C 温度范围内测量。某些特性可能在不同的电压和温度下测试，具体在测试条件部分说明。

7.3.1 上电及功耗

符号	参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
ICC _{BAT}	BAT 引脚供电电流	SHIP 模式		8		uA
		正常工作模式 (电压 ADC ON)		270		uA
		正常工作模式 (电压 ADC ON, 采样周期=500ms)		240		uA
		正常工作模式 (电压 ADC ON, 采样周期=1s)		220		uA
		正常工作模式 (电压 ADC ON, 采样周期=2s)		210		uA
		正常工作模式 (电压 ADC ON, 采样周期=4s)		207		uA
		正常工作模式 (电压 ADC ON, 采样周期=8s)		204		uA
		正常工作模式 (电压 ADC OFF)		184		uA
Δ I _{VC7X}	VC7X 引脚 offset 电流	SHIP 模式	-1		1	uA
		正常工作模式 (电压 ADC ON)	-5		5	uA
		正常工作模式 (电压 ADC OFF)	-5		5	uA
ICC _{REGSRC}	REGSRC 引脚供电电流	SHIP 模式		0		uA
		正常工作模式 (电压 ADC ON)		85		uA
		正常工作模式 (电压 ADC OFF)		30		uA
I _{CELL_SHIP}	电压采集端口输入电流	SHIP 模式		0		uA
I _{CELL_NOM}		正常工作模式		±100		nA
V _{POR}	芯片上电阈值电压			4		V
V _{SHUT}	芯片下电阈值电压			3.6		V
T _{SHUTDOWN}	芯片热关断温度			120		°C

7.3.2 电压 ADC 指标

符号	参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
ADC _{RANGE}	ADC 输入电压范围	推荐输入范围	2		5	V
	温度输入电压范围		0		V _{CAP1}	V
ADC _{LSB}	ADC 分辨率			415.78		uV
ADC _{OFFSET}	ADC 失调电压			1		mV
UV _{MINQUAL}	欠压 (UV) 最小设置值	低于 UV _{MINQUAL} , 将判断为短接 (未使用)		0x0518		ADC _{LSB}
CELL _{TSAMPLE}	电池电压测量周期①	未均衡状态单个通道		16.4		ms
		均衡状态单个通道		4.1		ms
		所有通道		250		ms

符号	参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位	
T _{TEMP}	温度测量周期①			2		s	
CELL _{ERR}	电池电压总测量误差	25℃	2V~5V	-5	±3	5	mV
		-20~60℃	2V~5V		±8		mV
		-40℃~85℃	2V~5V		±10		mV
T _{TEMP_EXT_ERR}	外部温度测量误差②			±1		℃	
T _{TEMP_INT_ERR}	内部温度测量误差			±1		℃	

① 电池电压测量周期默认是 250ms，温度测量周期默认是 2s，用户可通过配置 ADC_MODE (0x54) 寄存器来选择测量周期。

② 外部温度测量误差与所使用的热敏电阻精度也有关系，用户通过软件进行再次校准可以获得更高的精度。

7.3.3 电流 ADC 指标

符号	参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
ADC _{RANGE}	ADC 输入电压范围	推荐输入范围	-200		200	mV
ADC _{LSB}	ADC 分辨率			8.24		uV
ADC _{ZERO_DRIFT}	ADC 零漂		-2		2	LSB
ADC _{OFFSET_DRIFT}	ADC 失调电压温漂	-40℃~85℃		1		LSB
ADC _{RES}	ADC 输入阻抗			2		MΩ
CC _{SAMPLE}	电流测量时间	单次转换		250		ms
CC _{ERR}	电流测量误差	25℃	-100mV~100mV	0.3%		
		-40℃~85℃	-100mV~100mV	0.5%		

7.3.4 自主 MOS 控制（小电流信号唤醒）指标

符号	参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
V _{SR_WKUP}	小电流信号唤醒阈值电压范围		-200		200	mV
T _{SR_WKUP}	电流 ADC 测量间隔时间			250		ms

注意：

(1) 小电流信号唤醒阈值电压和电流 ADC 过采样率用户可根据实际需求进行配置。具体参考 9.2.25。

7.3.5 热敏电阻偏置电阻指标

符号	参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
R _{BIAS}	内部 10K 上拉电阻	25℃	9.85	10	10.15	K
	内部 100K 上拉电阻	25℃	98.5	100	101.5	K
R _{BIAS_DRIFT}	内部 10K 上拉电阻温漂	-40~85℃	9.7		10.3	K
	内部 100K 上拉电阻温漂	-40~85℃	97		103	K

7.3.6 芯片内部温度指标

符号	参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
V _{DIETEMP}	内部温度测量电压	25°C		-0.055		V
V _{DIETEMP_DRIFT}	内部温度测量电压温漂	-40~85°C		-3.95		mV/°C

7.3.7 均衡指标

符号	参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
R _{DSEFET}	内部均衡MOS导通电阻			100		Ω
D _{ON}	均衡开启时占空比	每个250ms周期		70%		
I _{BAL}	内部均衡MOS最大电流	V _{CELL} =4.2V, R _r =51Ω		20		mA
T _{WDG}	均衡看门狗超时时间		1		3840	s

7.3.8 MOS驱动指标

符号	参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
V _{FETON}	MOS驱动电压	V _{REGSRC} ≥ 12V	11	12	13	V
		V _{REGSRC} < 12V	V _{REGSRC} -1	V _{REGSRC} -0.2	V _{REGSRC}	V
V _{CHGCLAMP}	CHG钳位电压			18.5		V
T _{DSG_ON}	DSG驱动上升时间	负载为10nF电容并100K电阻		12		us
T _{DSG_OFF}	DSG驱动下降时间	负载为10nF电容并100K电阻		12		us
T _{CHG_ON}	CHG驱动上升时间	负载为10nF电容并100K电阻		12		us
T _{CHG_OFF}	CHG驱动下降时间	负载为10nF电容并100K电阻		52		us
T _{PCDG_ON}	PCDG驱动上升时间	负载为10nF电容并100K电阻		268		us
T _{PCDG_OFF}	PCDG驱动下降时间	负载为10nF电容并100K电阻		36		us
I _{DSG}	DSG驱动电流			2		mA
I _{CHG}	CHG驱动电流			2		mA
I _{PCDG}	PCDG驱动电流			0.4		mA

7.3.9 硬件保护功能指标

符号	参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
V _{OV}	过压保护阈值电压		0		5	V
V _{OV_ACC}	过压保护阈值电压精度		取决于电池测量精度			mV
V _{OV_DLY}	过压保护延时		0~15 (1s/step)			s
V _{UV}	欠压保护阈值电压		0		5	V
V _{UV_ACC}	欠压保护阈值电压精度		取决于电池测量精度			mV
V _{UV_DLY}	欠压保护延时		0~15 (1s/step)			s
T _{OT_TH}	高温保护阈值		30		85	°C

符号	参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
T _{OT_TH_ACC}	高温保护阈值精度			±1		°C
T _{OT_DLY}	高温保护延时			2s×N (N = 0~255)		s
T _{UT_TH}	低温保护阈值		-40		20	°C
T _{UT_TH_ACC}	低温保护阈值精度			±1		°C
T _{UT_DLY}	低温保护延时			2s×N (N = 0~255)		s
V _{SCD}	放电短路保护阈值电压	V _{SRP} -V _{SRN}		-15 -30 -60 -90 -120 -150 -187.5 -225 -262.5 -300 -375 -450 -525 -600 -675 -750		mV
V _{SCD_ACC}	放电短路保护阈值电压精度	-40°C~85°C, V _{SCD} ≥-20mV		±5		mV
		-40°C~85°C, V _{SCD} ≤-20mV		±20%		
V _{SCD_DLY}	放电短路保护延时	比较器最快建立时间 (V _{SRN} - V _{SRP} =3mV 过驱动)	5	8	11	us
		比较器最快建立时间 (V _{SRN} - V _{SRP} =25mV 过驱动)	400		800	ns
		数字电路延时		4us×(N+1) N = 0~255 (默认: N = 5)		us
V _{OCC}	充电过流保护阈值电压			6mV to 186mV steps = 3mV		mV
V _{OCD}	放电过流 (OCD1、OCD2) 保护阈值电压, 每个保护阈值可以独立设置			-6mV to -300mV steps = 6mV		mV
V _{OCC_ACC}	过流 (OCC、OCD1、OCD2) 保护阈值电压精度	Setting <20mV		±2		mV
		Setting =20mV~56 mV		±3		mV
		Setting =56mV~100mV		±4		mV
		Setting >100mV		±10%		
V _{OCC_DLY}	过流 (OCC、OCD1、OCD2) 保护延时, 每个保护延时可以独立设置			4ms×N N = 0~255 (默认: N = 2)		ms

7.3.10 REGOUT LDO 指标

符号	参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
V_{REGOUT}	REGOUT LDO 输出电压	2.5V 版本	2.52	2.55	2.58	V
		3.3V 版本	3.32	3.35	3.38	V
V_{REGOUT_LN}	线性调整率	REGSRC 引脚电压在 6~35V 范围内，负载电流 10mA		10		mV
V_{REGOUT_LD}	负载调整率	负载电流在 0~50mA 之间		±1%		
I_{REGOUT}	REGOUT LDO 输出电流				50	mA
I_{REGOUT_LMT}	$V_{REGOUT} = 0$ 时最大限制电流				80	mA

7.3.11 CAP1 LDO 指标

符号	参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
V_{CAP1}	CAP1 LDO 输出电压	CAP1-VSS 之间接 1uF 滤波电容	4.68	4.73	4.78	V
V_{CAP1_LN}	线性调整率	VC7X-VSS 电压在 6~35V 范围内			10	mV
V_{CAP1_LD}	负载调整率	负载电流在 0~2mA 之间		±1%		
I_{CAP1}	CAP1 LDO 输出电流				2	mA

注意：

- (1) CAP1 为带片外电容的 LDO 输出引脚，此 LDO 只给芯片内部模块使用，外部禁止接任何负载电路。

7.3.12 CAP2 LDO 指标

符号	参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
V_{CAP2}	CAP2 LDO 输出电压	CAP2-VC7X 之间接 1uF 滤波电容	4.68	4.73	4.78	V
V_{CAP2_LN}	线性调整率	BAT-VC7X 电压在 6~35V 范围内			10	mV
V_{CAP2_LD}	负载调整率	负载电流在 0~2mA 之间		±1%		
I_{CAP2}	CAP2 LDO 输出电流				2	mA

注意：

- (1) CAP2 为带片外电容的 LDO 输出引脚，此 LDO 只给芯片内部模块使用，外部禁止接任何负载电路。

7.3.13 充电器在线检测指标

符号	参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
V_{CHGD_IN}	充电器在线阈值电压		-0.3	-0.25	-0.15	V
V_{CHGD_OUT}	充电器拔出阈值电压		0	0.02	0.05	V
T_{CHGD}	充电器在线检测延时		400	500	600	ms

7.3.14 负载在线检测指标

符号	参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
V_{LOAD_DETECT}	负载在线检测阈值电压		0.6	1	1.3	V
T_{LOAD_DETECT}	负载在线检测使能后，需等的延时时间①		20ms			ms

① 负载在线检测使能后，需等待至少 20ms 延时再去读取 SYS_CTRL1 (0x04) 寄存器中的 LOAD_PRESENT 位状态来判断负载是否在线。

7.3.15 TS1 引脚激活指标

符号	参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
V_{TS1_WKUP}	TS1 引脚激活阈值电压	芯片在 SHIP 模式下，当 TS1 引脚处电压小于最小值时，设备将不会激活。高于最大值时，设备将保证能激活。	0.3			V
T_{TS1_WKUP}	TS1 引脚激活脉冲持续时间	芯片在 SHIP 模式下，当 TS1 引脚处高电平持续时间小于最小值时，设备将不会激活。高于最大值时，设备将保证能激活。	10			ms

注意：

(1) 为确保芯片能正常激活，建议给 TS1 引脚的高电平脉冲 > 1V，持续时间 > 10ms。

7.3.16 数字接口功能指标

符号	参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
V_{IH}	输入高电平		$0.75 \times V_{REGOUT}$			V
V_{IL}	输入低电平		$0.25 \times V_{REGOUT}$			V
V_{OH}	输出高电平		$0.75 \times V_{REGOUT}$			V
V_{OL}	输出低电平		$0.25 \times V_{REGOUT}$			V
f_{FETOFF}	FETOFF 支持 PWM 波频率输入	DSG 引脚的负载电容为 10nF	10K			Hz

注意：

(1) 数字接口包括 FETOFF, SHUTDOWN, SCL, SDA, ALERT, TS1, TS2 引脚。

7.3.17 I2C 接口指标及时序图

I ² C COMPATIBLE INTERFACE		MIN	TYP	MAX	UNIT
V _{IL}	Input Low Logic Threshold			REGOUT x 0.25	V
V _{IH}	Input High Logic Threshold	REGOUT x 0.75			V
V _{OL}	Output Low Logic Drive			0.20	V
t _f	SCL, SDA Fall Time			0.40	
V _{OH}	Output High Logic Drive (Not applicable due to open-drain outputs)	N/A		N/A	V
t _{HIGH}	SCL Pulse Width High	4.0			μs
t _{LOW}	SCL Pulse Width Low	4.7			μs
t _{SU,STA}	Setup time for START condition	4.7			μs
t _{HD,STA}	START condition hold time after which first clock pulse is generated	4.0			μs
t _{SU,DAT}	Data setup time	250			ns
t _{HD,DAT}	Data hold time	0			μs
t _{SU,STO}	Setup time for STOP condition	4.0			μs
t _{BUF}	Time the bus must be free before new transmission can start	4.7			μs
t _{VD,DAT}	Clock Low to Data Out Valid			900	ns
t _{HD,DAT}	Data Out Hold Time After Clock Low	0			ns
f _{SCL}	Clock Frequency	0		100	kHz

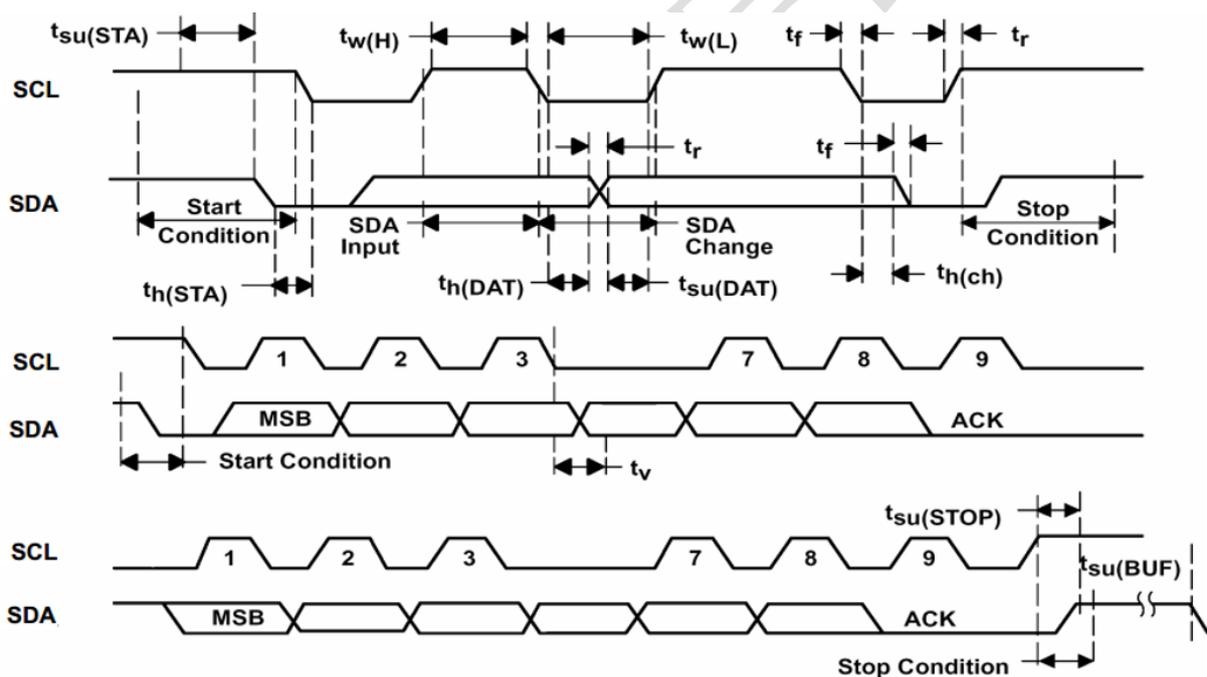


图 7-1 I2C 时序图

8. 功能描述

LS76935 是一款性能可靠的模拟前端 (AFE) 芯片，可应用于 6 至 14 串各种电池化学成分，如锂离子，磷酸铁锂等电池系统，其内部集成 14 位电压采样 ADC 和 16 位电流采样 ADC，通过电压 ADC 和电流采样 ADC 的快速采样转换实现对电池信息的采集。主机（控制器）可通过 I2C 通信接口实现对电池系统的管理，包括对电池基本信息的获取（电压、电流、温度）、MOS 驱动控制（充电、放电、预放或预充）、系统保护状态获取（过欠压、高低温、短路、过流）、均衡控制。纯硬件的放电短路保护 (SCD)、一级放电过流保护 (OCD1)、二级放电过流保护 (OCD2)、充电过流保护 (OCC)、过压保护 (OV)、欠压保护 (UV)、高温过温保护 (OT)、低温欠温保护 (UT) 极大增强了系统的可靠性。

LS76935 除具备放电 (DSG) MOS 驱动和充电 (CHG) MOS 驱动外，额外集成一路预放电 (PCDG，也可以配置为预充电) MOS 驱动便于客户根据实际需要进行配置，减少了对主机 IO 接口的要求。为进一步增强系统可靠性，LS76935 可通过 SHUTDN 引脚以硬件方式进入 SHIP 模式，实现对芯片状态的复位。

8.1 系统框图

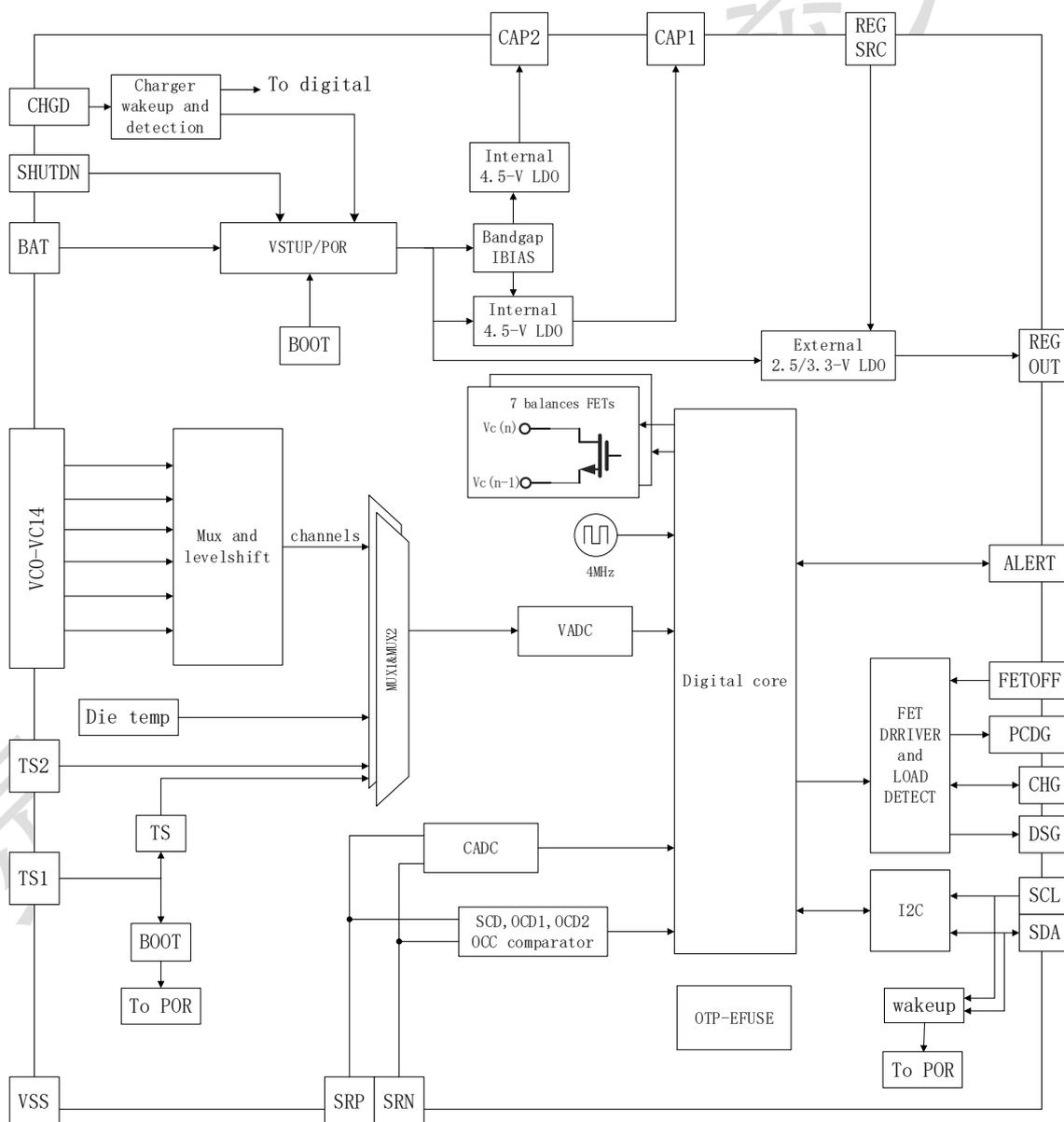


图 8-1 原理框图

8.2 芯片工作模式

8.2.1 SHIP 模式

在 SHIP 模式下，芯片仅唤醒电路工作，除此以外芯片的其他模块全部处于停止工作，此时芯片处于最低功耗状态，可被 TS1 引脚高电平信号、I2C 起始和终止的信号及 CHGD 引脚检测充电器接入三种方式激活。此外，需要注意的是，该模式下 DSG，CHG 以及 PCDG 三个引脚都是高阻状态。

8.2.2 正常工作模式

在正常工作模式下，用户可以根据自己的应用需求，选择相关寄存器进行配置，来启动或关闭 AFE 芯片的测量和保护功能。

在芯片需要进行电压，温度以及电流数据采集时，可以配置 `SYS_CTRL1 (0x04)` 寄存器中的 `ADC_EN = 1` 和 `SYS_CTRL2 (0x05)` 寄存器中的 `CC_EN = 1`，芯片的电压 ADC 及电流 ADC 将开启正常工作，再通过配置其他相关的寄存器即可实现对应的功能。此外，也可以通过配置 `SYS_CTRL1 (0x04)` 寄存器中的对应位为 0 来关闭对应的 ADC，以降低芯片的功耗。

在芯片的电压，温度测量周期要求不高的应用场景，可以配置 `ADC_MODE (0x54)` 寄存器来控制电压 ADC 和温度的采样间隔时间，可以进一步降低芯片功耗。

8.2.3 SHIP 模式转移到正常工作模式

在 SHIP 模式下，用户可以通过 TS1 引脚高电平信号、I2C 起始和终止的信号以及 CHGD 引脚检测充电器接入三种方式中任意一种方式，唤醒芯片进入到正常工作模式，在没有进行其他任何寄存器配置的情况下（即所有寄存器都是默认值），芯片会自动开启电压 ADC 进行电池电压数据和芯片内部温度测量，但此时电流 ADC 关闭状态，用户可以通过配置 `SYS_CTRL2 (0x05)` 寄存器中的 `CC_EN = 1`，来启动电流 ADC 进行电流数据采集。

8.2.4 正常工作模式转移到 SHIP 模式

在正常工作模式下，用户可以根据实际应用需求，可以通过以下两种方式进入 SHIP 模式：

1. 控制 SHUTDN 引脚为高电平使芯片进入 SHIP 模式，用 SHUTDN 引脚进入 SHIP 模式时，需要 SHUTDN 高电平脉冲信号至少持续 10ms 时间。

2. 通过 MCU 的 I2C 配置 `SYS_CTRL1 (0x04)` 寄存器中的 `SHUT_A` 位和 `SHUT_B` 位，必须按照特定的顺序写，具体配置如下：

```
Write #0: SYS_CTRL1 = 0x00 ;    % 首先对 SYS_CTRL1 寄存器进行清 0 操作。
Write #1: SYS_CTRL1 = 0x01 ;    % 再配置 SHUT_A = 0, SHUT_B = 1。
Write #2: SYS_CTRL1 = 0x02 ;    % 最后配置 SHUT_A = 1, SHUT_B = 0。
```

注意：

- (1) 当芯片的片内温度 $> T_{SHUTDN}$ （热关断温度）时芯片会自动进入 SHIP 模式。
- (2) 当芯片的 BAT 引脚电压 $< V_{shut}$ （芯片的下电阈值电压）时芯片会自动进入 SHIP 模式。

8.3 芯片上下电

当电源接入，芯片 BAT 引脚电压逐渐上升直至 $V_{BAT} > V_{POR}$ 且持续 100ms 以上时，芯片即进入 SHIP 模式，可被后续

操作激活成功上电；芯片下电时需确保芯片处于 SHIP 状态，避免热插拔引起芯片损伤，特别地，当电源电压 $V_{BAT} < V_{SHUT}$ 时，芯片将自动进入 SHIP 模式。

注意：

- (1) 芯片被激活后，必须等待 EFUSE 加载完成后才能配置芯片的寄存器，建议激活后至少延时 300ms 以上，主机再进行芯片寄存器配置。
- (2) 上电时，应先接电源负端 B-，再按从低至高的顺序依次接入采集线（即从 VC0, VC1……VC14），如果采集线是分多组时，应先接入低串的采集线组，再接高串的采集线组，最后接电源正端 B+。
- (3) 下电时，顺序跟上电时相反，应先拔除电源正端 B+，再按从高至低的顺序依次拔除采集线（即从 VC14, VC13……VC0），如果采集线是分多组时，应先拔除高串的采集线组，再拔除低串的采集线组，最后拔除电源负端 B-。

8.4 芯片功能模块

8.4.1 REGOUT LDO 输出模块

LS76935 REGOUT LDO 支持 3.3V 和 2.5V 两个版本电压输出，便于客户根据实际应用进行选择，其输出电流最大可达 50mA，并支持输出端短路保护功能。LDO 输出对应 REGOUT 引脚，建议外接滤波电容在 2.2uF 到 10uF 之间。

注意：

- (1) REGOUT LDO 输出的电压用户不可自主配置，不同电压版本由原厂设定。

8.4.2 电压采集 ADC

LS76935 集成了 14 位电压采集 ADC 负责 6 至 14 串电池电压，电池总压的检测以及 2 路芯片外部温度（热敏电阻）和 2 路芯片内部温度的检测。当芯片从 SHIP 模式唤醒到正常工作模式后，芯片自动设置 SYS_CTRL1 (0x04) 寄存器中的 ADC_EN = 1，以确保芯片的 OV 和 UV 保护功能可以进行正常检测。电压 ADC 数据默认每 250ms 完成一次测量，温度数据默认每 2s 完成一次测量，通过配置 ADC_MODE (0x54) 寄存器可以控制电压 ADC 采样的采样间隔周期，采样间隔周期越大，芯片功耗会越低。

当芯片在执行均衡功能时，对应的电池测量时间会减少，以允许电池均衡正常工作，但不会影响芯片的 OV 和 UV 保护功能。由于均衡通常仅在电池组充电状态或空闲时间段开启，而这些时间段系统的噪声大大降低，因此缩短电池电压测量时间电压 ADC 也能顺利地完成电压采集且精度不会受均衡的影响。

外接温度采集支持 10K 和 100K 两种阻值的热敏电阻，可配置 RES_TS1_BIAS (0x95) 寄存器中的 RES_TS1_BIAS 位来选择内部偏置是电阻 10K（外接热敏电阻也要使用 10K）还是 100K（外接热敏电阻也要使用 100K），内部偏置电阻默认是 10K。另外，用户可以通过配置 SYS_CTRL1 (0x04) 寄存器中的 TEMP_SEL 位来选择测量芯片内部温度（默认是测量芯片内部温度）或芯片外部温度。此外，用户还可以根据 TS1_HI (0x2C) 寄存器中的最高位 TS1_TEMP_SRC 的状态来判断当前读取的温度数据是芯片内部温度还是芯片外部温度，TS1_TEMP_SRC = 0 表示芯片内部温度读数，TS1_TEMP_SRC = 1 表示芯片外部温度读数，同理，TS2 与 TS1 一样。

单体电池电压计算公式：

$$V_{CELL} = 5/3 \times (14 \text{ 位电压 ADC 的十进制值}) \times 415.78 \text{ (uV)}$$

下表是单体电池电压计算的参考示例：

14 位电压 ADC 寄存器值	14 位电压 ADC 的十进制值	单体电池电压值 V_{CELL} (mV)
0x0E10	3600	2495

14 位电压 ADC 寄存器值	14 位电压 ADC 的十进制值	单体电池电压值 V_{CELL} (mV)
0x15FC	5628	3900

电池总压为各节电池电压之和，用 16 位数值表示。

电池总压计算公式：

$$V_{BAT} = 5/3 \times (14 \text{ 位电压 ADC 的十进制值}) \times 1663.12 \text{ (uV)}$$

下表是电池总压计算的参考示例：

14 位电压 ADC 寄存器值	14 位电压 ADC 的十进制值	电池总压值 V_{BAT} (mV)
0x3B30	15152	42999

芯片外部温度计算公式：

$$V_{TS} = (14 \text{ 位温度数据寄存器 TS1 补码的十进制值}) \times 415.78 \text{ (uV)}$$

$$V_{REF} = 2^{13} \times 415.78 \text{ (uV)}$$

$$R_{TS} = R_{BIAS} \times (V_{TS} + V_{REF}/2) / (V_{REF}/2 - V_{TS})$$

芯片内部温度计算公式：

$$V_{25} = -0.055 \text{ V}$$

$$V_{TS} = (14 \text{ 位温度数据寄存器 TS1 补码的十进制值}) \times 415.78 \text{ (uV)}$$

$$TEMP_{DIE} = 25^{\circ} - ((V_{TS} - V_{25}) / 0.00395)$$

注意：

(1) 根据 9.1.1 I2C 寄存器列表可知，第 1~5 节电池电压对应的是 VC1~VC5 寄存器，地址是连续的，读取电压数据时可以连续读，第 6, 7 节电池电压分别对应 VC16 和 VC17 寄存器，地址与第 1~5 节不是连续的，故电压数据只能单独读取。

(2) 第 8~12 节电池电压对应的是 VC6~VC10 寄存器，地址是连续的，读取电压数据时可以连续读，第 13, 14 节电池电压分别对应 VC26 和 VC27 寄存器，地址与第 8~12 节不是连续的，故电压数据只能单独读取。

(3) V_{TS} 是根据电压寄存器读出来的值； V_{REF} 是参考电压值（固定）； R_{BIAS} 是热敏电阻 @ 25°C 对应的电阻值，如选用的是 10K 的热敏电阻，则 $R_{BIAS}=10000$ ，如选用 100K 的热敏电阻，则 $R_{BIAS}=100000$ ；根据 V_{TS} ， V_{REF} 以及 R_{BIAS} 可以计算出 R_{TS} 的值，通过查询热敏电阻的 RT 表即可得出对应的温度值。

(4) 温度数据寄存器 TS1 由 TS1_HI (0x2C) 和 TS1_LO (0x2D) 组成，数据是以 14 位补码形式输出，最高位 TS1 (D13) 为符号位，当 TS1 (D13) = 0 时，表示输出的数据为正数；输出值（补码）= 原码，当 TS1 (D13) = 1 时，表示输出的数据为负数；输出值（补码）= -（反码+1），反码 = ~原码（即对原码进行取反操作）。TS2 与 TS1 一样。

8.4.3 电流采集 ADC

LS76935 集成了单独的 16 位电流采集 ADC 负责 BMS 系统的电流检测，电流数据每 250ms 完成一次更新，电流 ADC 可在单次采集和连续采集两种模式中的一种模式下工作。

当配置 SYS_CTRL2 (0x05) 寄存器中的 CC_EN = 1 时，将使能电流 ADC 在连续采集模式下工作，电流 ADC 全速运行，电流数据每隔 250ms 更新一次，每次转换完成后 SYS_STAT (0x00) 寄存器中的 CC_READY 位会被置 1，CC_READY = 1 后将触发 ALERT 引脚翻转为高电平以通知主机及时读取数据，当然，用户也可以通过配置 INTF_CTRL (0x58) 寄存器中的 CC_READY_ALERT_EN = 0，使 CC_READY = 1 时不触发 ALERT 引脚中断信号输出。

当配置 SYS_CTRL2 (0x05) 寄存器中的 CC_ONESHOT = 1 时，将使能电流 ADC 在单次采集模式下工作，电流数据也是每隔 250ms 更新一次，每次转换完成后 SYS_STAT (0x00) 寄存器中的 CC_READY 位会被置 1，CC_READY = 1 后将触发 ALERT 引脚翻转为高电平以通知主机及时读取数据，CC_ONESHOT 位也将在该读取结束时被自动清除（即

CC_ONESHOT = 0)。当电流 ADC 工作在单次采集模式时，需确保 CC_EN = 0 和 CC_ONESHOT = 1，因为当 CC_EN = 1 时会自动忽略单次采集模式。该模式适用于非测量用途，即主机只需检测电池组有无电流的情况。

电流 ADC 满量程输入电压范围 SRP-SRN 为 ±270 mV，推荐最大输入电压范围为 ±200 mV。

电流计算公式：

电流值 (uV) = (16 位电流数据寄存器 CC 补码的十进制值) × 8.24 (uV)

下表是电流计算的参考示例：

16 位电流数据寄存器 CC (原码)	16 位电流数据寄存器 CC (补码)	16 位电流数据寄存器 CC (补码的十进制)	电流值 (uV)
0x0001	0x0001	1	8.24
0x03E8	0x03E8	1000	8240
0XFC18	0x03E8	-1000	-8240
0xFFFF	0x0001	-1	-8.24

注意：

(1) 上述电流计算公式是没有进行板级校准的理想状态，应用中用户可以根据实际情况再进行一次板级校准可获得更精准的电流。

(2) 根据 $LSB = V_{ref} \times 2 / 2^{16} = 270mV \times 2 / 2^{16} = 8.24\mu V$ ，得出电流 ADC 的分辨率 = 8.24uV（即 1 个 LSB 的值）；

(3) 电流数据寄存器 CC 由 CC_HI (0x32) 和 CC_LO (0x33) 组成，数据是以 16 位补码形式输出，最高位 CC (D15) 为符号位，当 CC (D15) = 0 时，表示输出的数据为正数（充电电流），输出值（补码）= 原码，当 CC (D15) = 1 时，表示输出的数据为负数（放电电流），输出值（补码）= -（反码+1），反码 = ~原码（即对原码进行取反操作）。

8.4.4 均衡模块

LS76935 支持内部均衡和外部均衡两种均衡方式，默认是不开启均衡功能，可通过配置 CELLBAL1 (0x01) 和 CELLBAL2 (0x03) 寄存器中的 D6-D0 位为 1 来开启对应节电池的均衡。需要注意无论内部均衡还是外部均衡，**相邻节电池不可同时开启均衡**。当需要开启第 8 节到第 14 节之间的电池均衡时，**为了确保芯片内部正常通信，只有检测到 SYS_STAT2 (0x40) 寄存器中的 VADC_READY 位由 0 变到 1 时，才允许对 CELLBAL2 (0x03) 寄存器读写操作，且必须在 200ms 以内完成寄存器读写操作**。芯片内部均衡 MOS 开关电阻为 100Ω，最大可支持 20mA 均衡电流；使用外部均衡方式可获得更大的均衡电流，具体用户可根据实际应用需求进行设计。

此外，芯片内置了均衡看门狗模块，可通过配置 BALANCE_WTD (0x52) 寄存器中的 CB_EN = 1 使能均衡看门狗，除此之外还需要配置 BALANCE_WTD (0x52) 寄存器的 D6-D4 位和 D3-D0 位来设定均衡看门狗超时时间，最大超时时间 3840s，当电压 ADC 采样周期为 250ms，均衡占空比为固定的 70%，相当于每 250ms 中有 175ms 处于均衡状态。

注意：

以下事件将会自动关闭均衡：

(1) 进入 SHIP 模式，数字掉电，均衡自动关闭。

(2) 触发 TIMEOUT（均衡看门狗定时器超时），若开启此功能，每次配置 BALANCE_WTD (0x52) 寄存器，都会将 TIMER（均衡看门狗定时器）清 0；TIMER 达到 BALANCE_WTD (0x52) 寄存器的设定值则触发 TIMEOUT，均衡自动关闭。

(3) 触发 DEVICE_XREADY 故障时，CELLBAL1 (0x01)，CELLBAL2 (0x03) 寄存器会清 0，均衡将自动关闭。

8.4.5 MOS 驱动模块

LS76935 提供了 3 个低边 NMOS 驱动器，其中两个快速驱动器用于放电 (DSG) MOS 和充电 (CHG) MOS 驱动，另外

一个用户根据实际应用情况可配置为预充或预放（PCDG）MOS 驱动器。

特别地，当 FETOFF 引脚配置为 PWM 输入模式时，放电（DSG）MOS 驱动器将以 PWM 模式输出，该 PWM 驱动信号频率与 FETOFF 接收到的 PWM 信号频率一致，占空比刚好相反。通过该模式实现了 BMS 供电系统与驱动系统的结合，节省了系统成本。

此外，当芯片在 SHIP 模式时，DSG 引脚是**高阻状态**，因此，当 DSG 用做前级驱动时 DSG 引脚建议增加一个下拉电阻到 VSS，避免放电（DSG）MOS 出现关断不了情况。DSG 引脚在不同负载下的输出电压如图 8-2 所示。

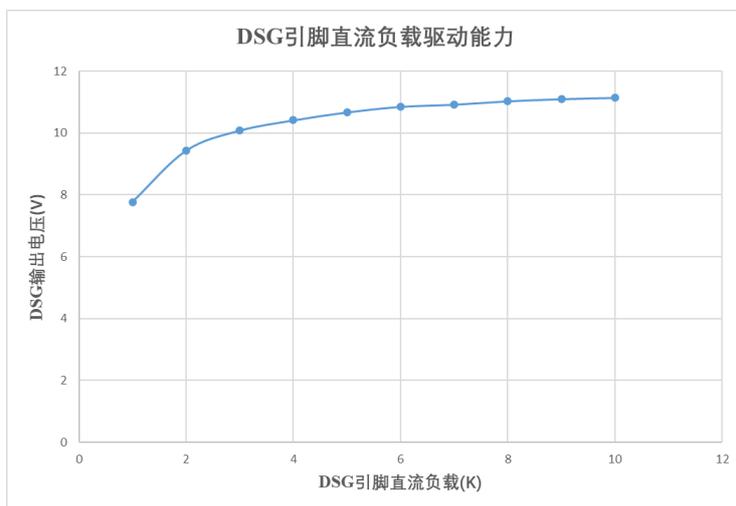


图 8-2 DSG 引脚在不同负载下的输出电压

相比于放电（DSG）MOS 驱动，充电（CHG）MOS 关闭时间由外部栅极与源级之间的电阻值大小决定，因此，充电（CHG）MOS 在关断时需要选择合适的栅极放电电阻，避免 MOSFET 长时间处于半导通状态而受损。

芯片在正常工作情况下，如果系统状态事件发生异常，3 个 NMOS 驱动器会根据具体故障事件做出相对响应，不同系统状态事件下的响应如表 8.4-1 所示：

表 8.4-1 不同系统状态事件下 CHG 引脚和 DSG 引脚的输出响应

系统状态事件	CHG 引脚	DSG 引脚
OV 故障	关断	—
UV 故障	—	关断
OCD 故障	—	关断
SCD 故障	—	关断
OCD2 故障	—	关断
OCC 故障	关断	—
OT 故障	关断	关断
UT 故障	关断	关断
I2C 通信超时	关断	关断
ALERT 警报故障	关断	关断
DEVICE_XREADY 故障	关断	关断
正常工作模式进入 SHIP 模式	关断	关断

注意：

- (1) 重新打开 CHG 引脚和 DSG 引脚以及 PCDG 引脚的输出，需要 MCU 介入。
- (2) 由于在默认情况下 ST2_FETC_MASK (0x43) = 0xFF，在发生 OT, UT, OCC, OCD2, BAL_TIMEOUT, I2C_TIMEOUT 等事件时，

不会自动关断 CHG 引脚和 DSG 引脚以及 PCDG 引脚的输出，如果需要实现自动关断 CHG 引脚和 DSG 引脚以及 PCDG 引脚的输出，则需配置 ST2_FETC_MASK (0x43) 寄存器中的对应位为 0。

(3) PCDG 引脚若配置为 PCHG (预充)，则关断条件与 CHG 引脚相同；若配置为 PDSG (预放)，则关断条件与 DSG 引脚相同。

8.4.6 硬件保护功能

LS76935 集成放电短路 (SCD)、充电过流 (OCC)、一级放电过流 (OCD1)、二级放电过流 (OCD2)、过压 (OV)、欠压 (UV)、高温过温 (OT) 和低温过温 (UT) 等纯硬件保护功能。用户可根据实际需求配置各项保护的触发阈值和延时时间，芯片将根据配置的参数监控电压、电流和温度，当故障发生（即满足芯片设置的阈值和延时参数条件）时，保护功能将被触发，相应的状态寄存器对应的状态位也将被置 1。此外，用户也可以配置 ST2_ALERT_MASK (0x41) 寄存器中的对应位为 0，使能充电过流 (OCC)、二级放电过流 (OCD2)、高温过温 (OT) 和低温过温 (UT) 的保护发生后，并触发 ALERT 引脚输出一个高电平中断信号给主机。

为增加系统设计的灵活性和可靠性，各项保护的触发阈值和延时时间设置了足够多的档位，既保证了各参数的精细度又保证了阈值和延时的范围宽度。此外，还有专门的寄存器来控制保护功能是否被触发以及触发之后是否会引起 ALERT 输出高电平。

注意：

(1) 如果需要保护功能触发后 ALERT 引脚有中断信号输出，则需配置 ST2_ALERT_MASK (0x41) 寄存器中的对应位为 0，使能当保护功能发生时并触发 ALERT 引脚输出中断信号（如当发生充电过流 (OCC) 保护时，需要 ALERT 引脚输出中断信号，则需配置 ST2_ALERT_MASK (0x41) 寄存器中的 OCC_M = 0）。

8.4.7 唤醒功能

LS76935 支持 TS1 引脚高电平信号、I2C 起始和终止的信号及 CHGD 引脚检测充电器接入三种唤醒方式，三种方式各有其特点和相应的应用场景，其中 TS1 唤醒为最基本的唤醒方式，TS1 引脚输入一个持续 10ms 以上的脉冲信号即可唤醒芯片，TS1 引脚同时也是温度采样的接口，为避免对温度采样造成影响须加一个二极管对唤醒电路和温度采样电路进行隔离；I2C 唤醒要求主机向芯片发送任意一组包含起始和终止的信号就可以激活芯片，相比于 TS1 唤醒节省了主机 IO 资源，同时保证了温度采样不会受到其它因素影响；CHGD 引脚在检测到充电器插入后延时 500ms 将自动唤醒芯片进入正常工作模式，进一步地，可以利用唤醒后芯片 REGOUT 引脚输出的 3.3V 或 2.5V（由 REGOUT LDO 输出电压决定）的电压信号或 ALERT 中断信号唤醒主机，由于 CHGD 充电唤醒的 ALERT 中断信号默认是关闭状态，需通过配置 ST2_ALERT_MASK (0x41) 寄存器中的 CHARGE_DET_M = 0，使能 CHARGE_DET = 1 时触发 ALERT 中断信号。

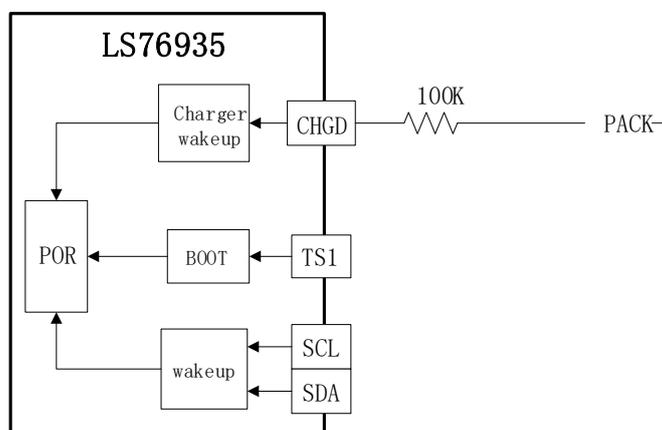


图 8-3 唤醒电路框图

注意：

- (1) CHGD 引脚必须外接一个 100K 电阻到 PACK-。
- (2) CHGD 引脚还可以作为充电器在线检测功能，可通过读取 SYS_CTRL1 (0x04) 中的 CHARGE_PRESENT 指示位状态判断。

8.4.8 负载在线检测功能

LS76935 的 CHG 引脚内集成了负载在线状态检测电路，且在充电 MOS 关断（即 SYS_CTRL2 (0x05) 寄存器中的 DSG_ON=0）之后有效，CHG 引脚内置有下拉电阻，在负载未接入时将 CHG 引脚下拉到低电平 VSS，当有负载接入时因为 PCAK-作用会将 CHG 引脚上拉至高电平。因此，当发生短路（SCD）或者放电过流（OCD1, OCD2）保护时，充电（CHG）MOS 和放电（DSG）MOS 均关断的情况下，主机可以通过定时轮询 SYS_CTRL1 (0x04) 寄存器的 LOAD_PRESENT 状态位来判断负载是否在线（LOAD_PRESENT=0 时，表示负载移除）。

注意：

进行负载在线检测，需要进行以下配置：

- (1) SYS_CTRL2 (0x05) 寄存器的 DSG_ON = 0, CHG_ON = 0 ; % 配置 DSG 和 CHG 为关断状态。
- (2) FETDRV_CTRL1 (0xA5) 寄存器的 LOAD_IN_RES (D7-D6) = 11 ; % 配置 CHG 引脚内置下拉为 600K 电阻。
- (3) FETDRV_CTRL2 (0xA6) 寄存器的 LOAD_DETECT (D6-D4) = 0 ; % 配置负载在线状态检测阈值电压 = 1V（默认）。
- (4) FETDRV_CTRL2 (0xA6) 寄存器的 LOAD_DETECT_EN = 1 ; % 使能负载在线状态检测电路。
- (5) 延时 20ms 再读取 SYS_CTRL1 (0x04) 寄存器中的 LOAD_PRESENT 位，当 LOAD_PRESENT = 1 时，表示检测到负载在线。

8.4.9 FETOFF 引脚功能

LS76935 的 FETOFF 引脚支持快速关断和 PWM 输入两种模式，当用作快速关断模式时（默认）可接受来自主机的控制信号关断放电（DSG）MOS 和预放电（PCDG）MOS（当 PCDG 用作预放电 MOS 驱动，即 SYS_CTRL2 (0x05) 寄存器中的 PFET_IS_CHG = 0 时）而不必通过 I2C 指令控制，通过该方式主机可实现对放电（DSG）MOS 和预放电（PCDG）MOS 快速关断，使故障保护得到及时处理，提升了整个系统的可靠性。

另外，用户可根据应用需求通过配置 FETDRV_CTRL2 (0xA6) 寄存器中的 FETOFF_IN_MODE = 1，将 FETOFF 配置为 PWM 输入模式，然后再配置 SYS_CTRL2 (0x05) 寄存器中的 DSG_ON = 1，放电（DSG）MOS 驱动器将以 PWM 模式输出，该 PWM 信号频率与 FETOFF 引脚接收到的 PWM 信号频率一致，占空比相反（放电（DSG）MOS 驱动器的 PWM 信号的正占空比 = FETOFF 引脚接收到的 PWM 信号的负占空比），信号波形如图 8-4 所示。

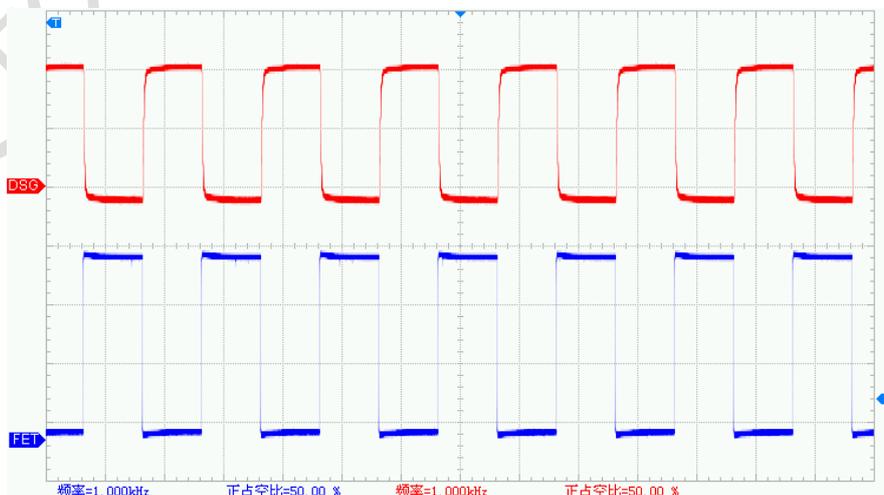


图 8-4 放电（DSG）MOS 驱动器输出信号与 FETOFF 接收到的 PWM 信号

注意：

(1) 当 FETOFF 引脚配置为 PWM 输入模式，如果 FETDRV_CTRL2 (0xA6) 寄存器中的 FETOFF_PWM_MASK = 1 时（默认为 0），将屏蔽内部保护自动关断 DSG 引脚输出的情况（即发生 OT, UT, OV, UV 等保护不会自动关断 DSG 引脚输出）。

8.4.10 SHUTDOWN 引脚功能

LS76935 除了可以通过 I2C 指令配置寄存器进入 SHIP 模式外，还可以通过控制 SHUTDOWN 引脚为高电平使芯片进入 SHIP 模式，SHUTDOWN 引脚进入 SHIP 模式的冗余设计增强了系统可靠性，避免了因为通信故障继而引发系统失控的风险。

注意：

(1) SHUTDOWN 引脚进入 SHIP 模式需要该引脚高电平脉冲信号至少持续 10ms 时间。

(2) SHUTDOWN 引脚有内部下拉电阻，为增加系统稳定性，建议接 1uF 滤波电容。

8.4.11 ALERT 引脚功能

LS76935 的 ALERT 引脚作为一个高电平有效的数字中断信号输入输出接口，可以连接至主机的 IO，该信号是所有保护及故障状态的逻辑“或”关系，即芯片发生的保护故障都可以通过 ALERT 引脚输出高电平中断信号，用户也可以通过配置 ST2_ALERT_MASK (0x41) 寄存器对应的位为 1 来屏蔽对应的 ALERT 中断信号输出。

在具备二次保护功能的 BMS 系统中，ALERT 引脚可以被外部信号源拉至高电平，如当 ALERT 引脚在低电平状态时被外部信号源拉至为高电平时，芯片将识别到外部警报 (OVRD_ALERT)，并设置 SYS_STAT (0x00) 寄存器中的 OVRD_ALERT = 1，并触发 ALERT 警报故障，将自动关断充电 (CHG) MOS 管和放电 (DSG) MOS 管。而当 ALERT 引脚被内部状态或故障拉至为高电平时，芯片将无法识别到外部故障信号。只有当内部 ALERT 被清零且需要等待大约 500us 之后，芯片才能重新开始检测外部 ALERT 的输入状态。OVRD_ALERT 是否使能可由 INTF_CTRL (0x58) 寄存器中的 OVRD_ALERT_EN 位控制，默认值为关闭状态。

ALERT 引脚输入检测有滤波，滤波时间窗口为约 12us。因此，设计时需要注意保护 ALERT 引脚免受噪声和瞬态的干扰。

注意：

(1) 该引脚内部没有到 VSS 的电阻，因此建议对 VSS 放置一个 510K~1M 的下拉电阻，且位置尽可能靠近芯片引脚。

(2) 尽可能缩短 ALERT 引脚和其它 IC 或元器件之间的走线距离。

(3) 在围绕 ALERT 引脚及与之连线的 IC 或元器件周围增加保护环。

8.4.12 I2C 通信及看门狗功能

LS76935 集成了一个标准的 100kHz I2C 通信从机接口，7bit 器件地址为 0X08（默认地址）或 0X18。写操作格式参考图 8-5，I2C 进行块 (Block Write) 读写操作时每个数据字节之后自动递增寄存器地址。芯片默认是启用 CRC 校准功能，也可通过配置 VERSION (0x56) 寄存器中的 CRC_EN = 0 来关闭 CRC 校准功能。此外，芯片还集成了 I2C 看门狗功能模块（默认不开启），可配置 I2C_WTD (0x53) 寄存器为非 0 值来启用 I2C 看门狗功能，其中，I2C_WTD (0x53) 寄存器的值代表超时时间，单位为秒，如果主机超过了配置的超时时间仍未正常访问到 AFE 芯片，将会自动触发超时故障，如果同时配置了 ST2_ALERT_MASK (0x41) 寄存器中的 I2C_TIMEOUT_M = 0，则 ALERT 引脚也会被置为高电平，芯片将进入 SHIP 模式。

I2C 接口使用 8 位 CRC 进行数据校验。CRC 多项式为 $X^8 + X^2 + X + 1$ ，初始值为 0。

当 I2C 启用写 CRC 校验功能时，计算如下：

单个字节写入（Single-Byte）时，根据从机地址、寄存器地址和数据来计算 CRC。

块写入（Block Write）时，根据从机地址、寄存器地址和数据计算第一个数据字节的 CRC，随后仅在数据字节上计算后续数据字节的 CRC。

当 I2C 启用读 CRC 校验功能时，计算如下：

单个字节写入（Single-Byte）时，CRC 是在第二次启动后计算，并使用从机地址和数据字节。

块写入（Block Write）时，第一个数据字节的 CRC 是在第二次启动后计算，并使用从机地址和数据字节。随后仅在数据字节上计算后续数据字节的 CRC。

I2C 通信帧格式如图 8-5，图 8-6，图 8-7 所示：

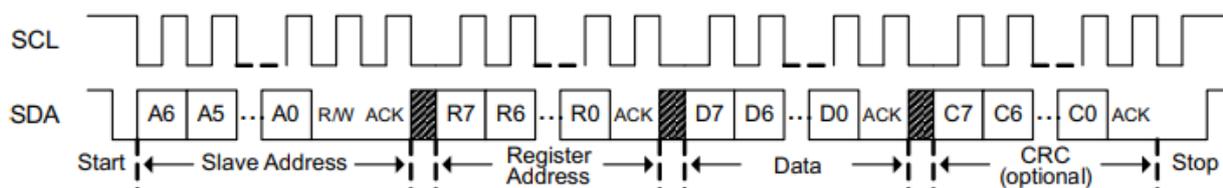


图 8-5 I2C 写操作格式

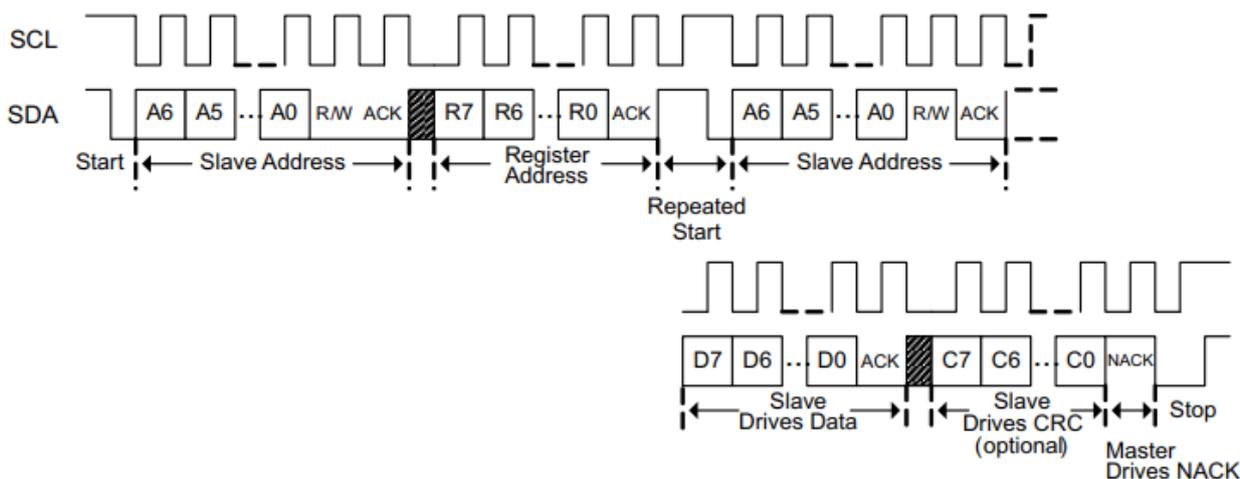


图 8-6 I2C 重复读操作格式

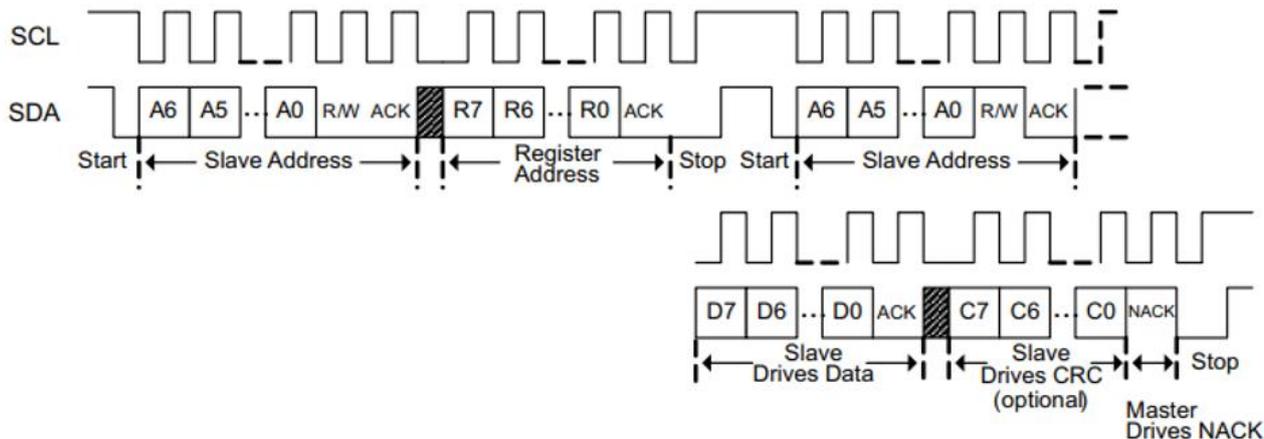


图 8-7 I2C 不使用重复读操作格式

9. 寄存器描述

9.1 寄存器列表

9.1.1 I2C 寄存器列表

NAME	ADD	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	R/W	Default	
SYS_STAT	0x00	CC_READY	SNS_WAKEUP	DEVICE_XREADY	OVRD_ALERT	UV	OV	SCD	OCD1	R/W1C	0x00	
CELLBAL1	0x01	RSVD	CB<7:1>							RW	0x00	
CELLBAL2	0x03	RSVD	CB<14:8>							RW	0x00	
SYS_CTRL1	0x04	LOAD_PRESENT	CHARGE_PRESSENT	RSVD	ADC_EN	TEMP_SEL	TEMP_SRC_EN	SHUT_A	SHUT_B	RW	0x00	
SYS_CTRL2	0x05	RSVD	CC_EN	CC_ONESHOT	RSVD	PFET_IS_CHG	PFET_ON	DSG_ON	CHG_ON	RW	0x00	
PROTECT1	0x06	UV_DELAY<3:0>				OV_DELAY<3:0>				RW	0x00	
PROTECT2	0x07	RSVD	OV_TH_2MSB<1:0>			OV_TH_4LSB<3:0>				RW	0x28	
PROTECT3	0x08	RSVD	UV_TH_2MSB<1:0>			UV_TH_4LSB<3:0>				RW	0x10	
OV_TRIP	0x09	OV_THRESH								RW	0xAC	
UV_TRIP	0x0A	UV_THRESH								RW	0x97	
VC1_HI	0x0C	RSVD	<13:8>								RO	0x00
VC1_LO	0x0D	<7:0>								RO	0x00	
VC2_HI	0x0E	RSVD	<13:8>								RO	0x00
VC2_LO	0x0F	<7:0>								RO	0x00	
VC3_HI	0x10	RSVD	<13:8>								RO	0x00
VC3_LO	0x11	<7:0>								RO	0x00	
VC4_HI	0x12	RSVD	<13:8>								RO	0x00
VC4_LO	0x13	<7:0>								RO	0x00	
VC5_HI	0x14	RSVD	<13:8>								RO	0x00
VC5_LO	0x15	<7:0>								RO	0x00	
VC6_HI	0x16	RSVD	<13:8>								RO	0x00
VC6_LO	0x17	<7:0>								RO	0x00	
VC7_HI	0x18	RSVD	<13:8>								RO	0x00
VC7_LO	0x19	<7:0>								RO	0x00	
VC8_HI	0x1A	RSVD	<13:8>								RO	0x00
VC8_LO	0x1B	<7:0>								RO	0x00	
VC9_HI	0x1C	RSVD	<13:8>								RO	0x00
VC9_LO	0x1D	<7:0>								RO	0x00	
VC10_HI	0x1E	RSVD	<13:8>								RO	0x00
VC10_LO	0x1F	<7:0>								RO	0x00	
BAT_HI	0x2A	<15:8>								RO	0x00	
BAT_LO	0x2B	<7:0>								RO	0x00	
TS1_HI	0x2C	TS1_TEMP_SRC	RSVD	<13:8>							RO	0x00
TS1_LO	0x2D	<7:0>								RO	0x00	
TS2_HI	0x2E	TS2_TEMP_SRC	RSVD	<13:8>							RO	0x00
TS2_LO	0x2F	<7:0>								RO	0x00	
CC_HI	0x32	<15:8>								RO	0x00	
CC_LO	0x33	<7:0>								RO	0x00	
VC16_HI	0x34	RSVD	<13:8>								RO	0x00
VC16_LO	0x35	<7:0>								RO	0x00	
VC26_HI	0x36	RSVD	<13:8>								RO	0x00
VC26_LO	0x37	<7:0>								RO	0x00	
VC17_HI	0x3A	RSVD	<13:8>								RO	0x00
VC17_LO	0x3B	<7:0>								RO	0x00	
VC27_HI	0x3C	RSVD	<13:8>								RO	0x00
VC27_LO	0x3D	<7:0>								RO	0x00	
SYS_STAT2	0x40	VADC_READY	I2C_TIMEO UT	BAL_TIMEOUT	CHARGE_DET	OCD2	OCC	UT	OT	R/W1C	0x00	
ST2_ALERT_M ASK	0x41	VADC_READY_ M	I2C_TIMEO UT_M	BAL_TIMEOUT _M	CHARGE_DET_ M	OCD2_M	OCC_M	UT_M	OT_M	RW	0xef	
ST_FETC_MASK	0x42	RSVD		XREADY_FETC_ M	ALERT_FETC_ M	UV_FETC_M	OV_FETC_M	SCD_FETC_M	OCD1_FETC_ M	RW	0x00	
ST2_FETC_MASK	0x43	RSVD	I2C_TIMEO _FETC_M	BAL_TIMEOUT _FETC_M	RSVD	OCD2_FETC_M	OCC_FETC_M	UT_FETC_M	OT_FETC_M	RW	0xff	
TS1_EXT_OT_TH	0x45	<7:0>								RW	0x00	
TS2_EXT_OT_TH	0x46	<7:0>								RW	0x00	
TS1_EXT_UT_TH	0x48	<7:0>								RW	0x00	

NAME	ADD	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	R/W	Default		
TS2_EXT_UT_TH	0x49						<7:0>				RW	0x00	
TS_INT_OT_TH	0x4B						<7:0>				RW	0xf2	
TS_INT_UT_TH	0x4C						<7:0>				RW	0x08	
OT_DELAY	0x4D						<7:0>				RW	0x00	
UT_DELAY	0x4E						<7:0>				RW	0x00	
TS_INT_OT_T H_6LSB	0x50	RSVD							<5:0>		RW	0x00	
TS_INT_UT_T H_6LSB	0x51	RSVD							<5:0>		RW	0x00	
ALANCE_WTD	0x52	CB_EN	CB_MUL<2:0>			CB_TIMER<3:0>				RW	0x00		
I2C_WTD	0x53	I2C_WATCH_DOG<7:0>										RW	0x00
ADC_MODE	0x54	TEMP_SAMP_MODE<3:0>					ADC_SAMP_MODE<3:0>					RW	0x00
VERSION	0x56	RSVD	VC_X6_EN	VC_X7_EN	CHIP_TYPE<1:0>		I2C_ADD_T YPE	LDO_TYPE	CRC_EN	RO	0x01		
INTF_CTRL	0x58	RSVD				OVRD_ALERT_ EN	CC_READY_ ALERT_EN	I2C_WTD_TO_S HIP	WAKEUP_A LERT_EN	RW	0x05		
OCD1_THRES H	0x5B	RSVD		OCD_THRESH<5:0>						RW	0x02		
SCD_THRESH	0x5C	RSVD				SCD_THRESH<3:0>				RW	0x01		
OCD1_DELAY	0x5D						<7:0>				RW	0x02	
SCD_DELAY	0x5E						<7:0>				RW	0x05	
OCC_THRESH	0x5F	RSVD		OCC_THRESH<5:0>						RW	0x02		
OCD2_THRES H	0x60	RSVD		OCD2_THRESH<5:0>						RW	0x0a		
OCC_DELAY	0x61						<7:0>				RW	0x02	
OCD2_DELAY	0x62						<7:0>				RW	0x0a	
TS1_EXT_OT_ TH_6LSB	0x63	RSVD							<5:0>		RW	0x00	
TS2_EXT_OT_ TH_6LSB	0x64	RSVD							<5:0>		RW	0x00	
TS1_EXT_UT_ TH_6LSB	0x66	RSVD							<5:0>		RW	0x00	
TS2_EXT_UT_ TH_6LSB	0x67	RSVD							<5:0>		RW	0x00	
MAGIC_NUM 0	0x6A						<7:0>				RW	0x00	
MAGIC_NUM 1	0x6B						<7:0>				RW	0x00	
UART_WDATA	0x6D						<7:0>				RW	0x00	
UART_ADDR	0x6E						<7:0>				RW	0x00	
UART_CMD	0x6F	RSVD						UART_READ	UART_WRITE	RW/ HWC	0x00		
UART_RDATA_ HI	0x70						<7:0>				RO	0x00	
UART_RDATA_ LO	0x71						<7:0>				RO	0x00	
CC_MODE	0x80	RSVD				CC_OSR<3:0>				RW	0x00		
SENSE_CTRL	0x85	RSVD					AUTO_DSG FET_ON	AUTO_CHGFET _ON	CADC_SEN SE_EN	RW	0x00		
CHG_CADC_T H_HI	0x86						<7:0>				RW	0x00	
CHG_CADC_T H_LO	0x87						<7:0>				RW	0x00	
DSG_CADC_T H_HI	0x88						<7:0>				RW	0x00	
DSG_CADC_T H_LO	0x89						<7:0>				RW	0x00	
REGA_CFG_ BOT_CAP	0x92	RSVD					BOT_CAP_VSEL<2:0>				RW	0x00	
REGA_CFG_B OT_CA	0x94	BOT_CA_ASEL<2:0>			RSVD						RW	0x00	
RES_TS1_BIAS	0x95	RES_TS1_BAIS	RSVD									RW	0x00
CC_ADC_LP	0xA1	RSVD			CC_ADC_LP<1:0>			RSVD				RW	0x00
FETDRV_CTRL1	0xA5	LOAD_IN_RES<1:0>		RSVD						RW	0x00		
FETDRV_CTRL2	0xA6	RSVD	LOAD_DETECT<2:0>			LOAD_DETECT _EN	RSVD	FETOFF_PWM _MASK	FETOFF_IN _MODE	RW	0x00		

注意:

(1) RO: 表示只读。

(2) RW: 表示可读可写，对应位写 0 实现清 0。

(3) R/WIC: 表示可读可写，对应位写 1 实现清 0。

(4) RW/HWC: 表示可读可写，硬件自动清 0。

(5) 只有当 MAGIC_NUM0 = 0x07 和 MAGIC_NUM1 = 0x55 时，才允许对地址 ADD = 0x6C~0x7F 的寄存器进行读写访问。因此，在访问 UART 部分寄存器时，须优先配置 MAGIC_NUM0 = 0x07 和 MAGIC_NUM1 = 0x55，才能正常操作 UART 寄存器。

(6) 为了确保芯片内部正常通信，只有检测到 SYS_STAT2 (0x40) 寄存器中的 VADC_READY 位由 0 变到 1 时，才允许对 CELLBAL2 (0x03) 寄存器读写操作，且必须在 200ms 以内完成寄存器读写操作。

9.1.2 UART 寄存器列表

NAME	ADD	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	R/W	Default		
REGA_CFG_TOP_CAP	0x32	RSVD					TOP_CAP_VSEL<2:0>				RW	0x00	
REGA_CFG_TOP_CA	0x34	TOP_CA_ASEL<7:5>			RSVD							RW	0x00
RES_TS2_BIAS	0x35	RES_TS2_BAIS	RSVD									RW	0x00

注意：

(1) UART 寄存器，需通过 I2C 接口，再借助内部的 UART 接口来间接访问。

9.2 I2C 寄存器详细说明

9.2.1 SYS_STAT (0x00) 状态寄存器

NAME	ADD	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	R/W	Default
SYS_STAT	0x00	CC_READY	SNS_WAKEUP	DEVICE_XREADY	OVRD_ALERT	UV	OV	SCD	OCD1	R/W1C	0x00

OCD1 (D0): 放电过流 1 故障状态指示位。

- 0: 未检测到 OCD1 故障，或故障已被主机清除。
- 1: 检测到 OCD1 故障，并一直保持高电平状态，直到被主机清除。

SCD (D1): 放电短路故障状态指示位。

- 0: 未检测到 SCD 故障，或故障已被主机清除。
- 1: 检测到 SCD 故障，并一直保持高电平状态，直到被主机清除。

OV (D2): 电池过压故障状态指示位。

- 0: 未检测到 OV 故障，或故障已被主机清除。
- 1: 检测到 OV 故障，并一直保持高电平状态，直到被主机清除。

UV (D3): 电池欠压故障状态指示位。

- 0: 未检测到 UV 故障，或故障已被主机清除。
- 1: 检测到 UV 故障，并一直保持高电平状态，直到被主机清除。

OVRD_ALERT (D4): ALERT 引脚被外部拉至高电平状态指示位（仅当 ALERT 引脚尚未被 AFE 内部信号拉至为高电平时有效）。

- 0: 未检测到 ALERT 引脚被外部拉至高电平，或状态已被主机清除。
- 1: 检测到 ALERT 引脚被外部拉至高电平，并一直保持高电平状态，直到被主机清除。

DEVICE_XREADY (D5): 芯片内部故障状态指示位。

- 0: 未检测到芯片内部故障，或故障已被主机清除。
- 1: 检测到芯片内部故障，并一直保持高电平状态，直到被主机清除，建议主机在等待几秒钟后清除此位。

SNS_WAKEUP (D6): 小电流信号唤醒状态指示位。

- 0: 未检测到小电流信号唤醒，或状态已被主机清除。
- 1: 检测到小电流信号唤醒，并一直保持高电平状态，直到被主机清除。

CC_READY (D7): 电流 ADC 数据更新状态指示位。

- 0: 未检测到电流 ADC 数据更新，或状态已被主机清除。
- 1: 检测到电流 ADC 数据更新，并一直保持高电平状态，直到被主机清除。

9.2.2 CELLBAL1 (0x01) 和 CELLBAL2 (0x03) 均衡使能控制寄存器

NAME	ADD	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	R/W	Default
CELLBAL1	0x01	RSVD				CB<7:1>				RW	0x00
CELLBAL2	0x03	RSVD				CB<14:8>				RW	0x00

CELLBAL1 (0x01) 寄存器的 CBx (D6-D0): 第 1 到第 7 节电池的均衡使能控制。

CELLBAL2 (0x03) 寄存器的 CBx (D6-D0): 第 8 到第 14 节电池的均衡使能控制。

- 0: 不启动第“x”节电池均衡。
- 1: 启动第“x”节电池均衡。

9.2.3 SYS_CTRL1 (0x04) 控制寄存器

NAME	ADD	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	R/W	Default
SYS_CTRL1	0x04	LOAD_PRESENT	CHARGE_PRESENT	RSVD	ADC_EN	TEMP_SEL	TEMP_SRC_EN	SHUT_A	SHUT_B	RW	0x00

SHUT_B (D0) /SHUT_A (D1): 主机微控制器的关机命令，必须按照特定的顺序写，如下所示：

- Write #0: SYS_CTRL1 = 0x00 ; % 首先对 SYS_CTRL1 寄存器进行清 0 操作。
- Write #1: SYS_CTRL1 = 0x01 ; % 再配置 SHUT_A = 0, SHUT_B = 1。
- Write #2: SYS_CTRL1 = 0x02 ; % 最后配置 SHUT_A = 1, SHUT_B = 0。

TEMP_SRC_EN (D2): 芯片内部温度和外部温度 OT/UT 阈值数据寄存器选择使能位。

0: 不区分温度源，芯片内部温度和外部温度共用同一组阈值。OT 阈值是 OT/UTTS_INT_OT_TH (0x4B) 和 TS_INT_OT_TH_6LSB (0x50) 寄存器配置的值；UT 阈值是 TS_INT_UT_TH (0x4C), TS_INT_UT_TH_6LSB (0x51) 寄存器配置的值。与 BQ769x0 兼容。

1: 区分温度源，当测量的是芯片外部温度（即 TEMP_SEL = 1）时，芯片外部温度#1 和#2 的 OT/UT 阈值对应的寄存器如下表所示：

外部温度	OT 阈值寄存器		UT 阈值寄存器	
	OT 阈值高 8 位	OT 阈值低 6 位	UT 阈值高 8 位	UT 阈值低 6 位
#1	TS1_EXT_OT_TH (0x45)	TS1_EXT_OT_TH_6LSB (0x63)	TS1_EXT_UT_TH (0x48)	TS1_EXT_UT_TH_6LSB (0x66)
#2	TS2_EXT_OT_TH (0x46)	TS2_EXT_OT_TH_6LSB (0x64)	TS2_EXT_UT_TH (0x49)	TS2_EXT_UT_TH_6LSB (0x67)

当测量的是芯片内部温度时（即 TEMP_SEL = 0），芯片内部温度的 OT 阈值是 TS_INT_OT_TH (0x4B) 和 TS_INT_OT_TH_6LSB (0x50) 寄存器配置的值；UT 阈值是 TS_INT_UT_TH (0x4C), TS_INT_UT_TH_6LSB (0x51) 寄存器配置的值。

TEMP_SEL (D3): TSx_HI 和 TSx_LO 温度源选择位 (x = 1, 2)。

- 0: 将芯片内部温度电压读数存储在 TSx_HI 和 TSx_LO 中。
- 1: 将芯片外部温度（热敏电阻）读数存储在 TSx_HI 和 TSx_LO 中。

ADC_EN (D4): 电压 ADC 工作使能位。

- 0: 禁用电压和温度 ADC 读数(也禁用 OV/UV 保护)。
- 1: 开启电压和温度 ADC 读数(也使能 OV/UV 保护)。

CHARGE_PRESENT (D6): 充电器在线检测指示位，该状态位是只读。

- 0: 没有检测到充电器在线。
- 1: 有检测到充电器在线，并一直保持高电平状态，当充电器拔除后该状态位会自动清零。

LOAD_PRESENT (D7): 负载在线状态指示位，该状态位是只读。

- 0: 当 CHG_ON = 1, 或 LOAD_DETECT_EN = 0, 或 V_{CHG} (CHG 引脚电压) < V_{LOAD_DETECT} 时。
- 1: 当 CHG_ON = 0, 且 LOAD_DETECT_EN = 1, 且 V_{CHG} (CHG 引脚电压) > V_{LOAD_DETECT} 时，检测到负载在线，并一直保

持高电平状态，当负载移除时将自动清零。

9.2.4 SYS_CTRL2 (0x05) 控制寄存器

NAME	ADD	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	R/W	Default
SYS_CTRL2	0x05	RSVD	CC_EN	CC_ONESHOT	RSVD	PFET_IS_CHG	PFET_ON	DSG_ON	CHG_ON	RW	0x00

CHG_ON (D0): 充电 (CHG) MOSFET 控制信号。

- 0: 关断 CHG 使能。
- 1: 打开 CHG 使能。

DSG_ON (D1): 放电 (DSG) MOSFET 控制信号。

- 0: 关断 DSG 使能。
- 1: 打开 DSG 使能。

PFET_ON (D2): 预放电或预充电 MOSFET 控制信号。

- 0: 关断 PFET 使能 (即关断 PCHG/PDSG)。
- 1: 打开 PFET 使能 (即打开 PCHG/PDSG)。

PFET_IS_CHG (D3): 预放电或预充电控制信号属性选择位。

- 0: PFET 管为放电属性。
- 1: PFET 管为充电属性。

CC_ONESHOT (D5): 库仑计单次读取 (ONESHOT) 模式使能位。如果 CC_ONESHOT = 1, 库仑计将被激活一次 250ms 的读数, 然后再关闭。在读数结束后 CC_ONESHOT 也会自动清除, 而 CC_READY 位也将被设置为 1。

- 0: 禁用库仑计单次读取模式。
- 1: 启用库仑计单次读取模式 (仅当 CC_EN = 0 和 CC_ONESHOT = 1 时有效)。

CC_EN (D6): 库仑计连续测量模式使能位。如果 CC_EN = 1, 则 CC_ONESHOT 位将会被忽略。

- 0: 禁用库仑计连续读数。
- 1: 启用库仑计连续读数并忽略 CC_ONESHOT 位的状态。

9.2.5 PROTECT1 (0x06) OV/UV 保护延时寄存器

NAME	ADD	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	R/W	Default
PROTECT1	0x06	UV_DELAY<3:0>				OV_DELAY<3:0>				RW	0x00

OV_DELAY (D3-D0): 过压保护延时设置, 过压保护延时范围为 0~15s, 延时设置精度为 1s/step。

OV_DELAY (D3-D0)	延时	OV_DELAY (D3-D0)	延时
0000	0s	1000	8s
0001	1s	1001	9s
0010	2s	1010	10s
0011	3s	1011	11s
0100	4s	1100	12s
0101	5s	1101	13s
0110	6s	1110	14s
0111	7s	1111	15s

UV_DELAY (D7-D4): 欠压保护延时设置，欠压保护延时范围为 0~15s，延时设置精度为 1s/step。

UV_DELAY (D7-D4)	延时	UV_DELAY (D7-D4)	延时
0000	0s	1000	8s
0001	1s	1001	9s
0010	2s	1010	10s
0011	3s	1011	11s
0100	4s	1100	12s
0101	5s	1101	13s
0110	6s	1110	14s
0111	7s	1111	15s

9.2.6 PROTECT2 (0x07) 和 OV_TRIP (0x09) 过压 (OV) 保护阈值寄存器

NAME	ADD	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	R/W	Default		
PROTECT2	0x07	RSVD		OV_TH_2MSB<1:0>		OV_TH_4LSB<3:0>				RW	0x28		
OV_TRIP	0x09	OV_THRESH										RW	0xAC

OV_TH_4LSB (D3-D0): OV 阈值最低 4 位数据。

OV_TH_2MSB (D5-D4): OV 阈值最高 2 位数据。

OV_THRESH (D7-D0): OV 阈值中间 8 位数据。

OV 保护阈值由 14 位数据组成，配置参考示例如下：

OV 阈值最高 2 位	OV 阈值中间 8 位	OV 阈值最低 4 位	OV 阈值
OV_TH_2MSB (D5-D4)	OV_THRESH (D7-D0)	OV_TH_4LSB (D3-D0)	
01	0111 1010	1000	4.2V
01	0100 0100	1011	3.6V

9.2.7 PROTECT3 (0x08) 和 UV_TRIP (0x0A) 欠压 (UV) 保护阈值寄存器

NAME	ADD	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	R/W	Default		
PROTECT3	0x08	RSVD		UV_TH_2MSB<1:0>		UV_TH_4LSB<3:0>				RW	0x10		
UV_TRIP	0x0A	UV_THRESH										RW	0x97

UV_TH_4LSB (D3-D0): UV 阈值最低 4 位数据。

UV_TH_2MSB (D5-D4): UV 阈值最高 2 位数据。

UV_THRESH (D7-D0): UV 阈值中间 8 位数据。

UV 保护阈值由 14 位数据组成，配置参考示例如下：

UV 阈值最高 2 位	UV 阈值中间 8 位	UV 阈值最低 4 位	UV 阈值
UV_TH_2MSB (D5-D4)	UV_THRESH (D7-D0)	UV_TH_4LSB (D3-D0)	
01	0010 0000	1000	3.2V
01	0000 1110	1001	3.0V

9.2.8 电池电压和电池总压读数寄存器。

NAME	ADD	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	R/W	Default		
VC1_HI	0x0C	RSVD		<13:8>						RO	0x00		
VC1_LO	0x0D	<7:0>										RO	0x00
VC2_HI	0x0E	RSVD		<13:8>						RO	0x00		

NAME	ADD	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	R/W	Default
VC2_LO	0x0F	<7:0>								RO	0x00
VC3_HI	0x10	RSVD			<13:8>					RO	0x00
VC3_LO	0x11	<7:0>								RO	0x00
VC4_HI	0x12	RSVD			<13:8>					RO	0x00
VC4_LO	0x13	<7:0>								RO	0x00
VC5_HI	0x14	RSVD			<13:8>					RO	0x00
VC5_LO	0x15	<7:0>								RO	0x00
VC6_HI	0x16	RSVD			<13:8>					RO	0x00
VC6_LO	0x17	<7:0>								RO	0x00
VC7_HI	0x18	RSVD			<13:8>					RO	0x00
VC7_LO	0x19	<7:0>								RO	0x00
VC8_HI	0x1A	RSVD			<13:8>					RO	0x00
VC8_LO	0x1B	<7:0>								RO	0x00
VC9_HI	0x1C	RSVD			<13:8>					RO	0x00
VC9_LO	0x1D	<7:0>								RO	0x00
VC10_HI	0x1E	RSVD			<13:8>					RO	0x00
VC10_LO	0x1F	<7:0>								RO	0x00
BAT_HI	0x2A	<15:8>								RO	0x00
BAT_LO	0x2B	<7:0>								RO	0x00
VC16_HI	0x34	RSVD			<13:8>					RO	0x00
VC16_LO	0x35	<7:0>								RO	0x00
VC26_HI	0x36	RSVD			<13:8>					RO	0x00
VC26_LO	0x37	<7:0>								RO	0x00
VC17_HI	0x3A	RSVD			<13:8>					RO	0x00
VC17_LO	0x3B	<7:0>								RO	0x00
VC27_HI	0x3C	RSVD			<13:8>					RO	0x00
VC27_LO	0x3D	<7:0>								RO	0x00

VCx(1-5)_HI (D5-D0): 第1~5节电池电压 ADC 读数高 6 位数据。

VCx(1-5)_LO (D7-D0): 第1~5节电池电压 ADC 读数低 8 位数据。

VC16_HI (D5-D0): 第 6 节电池电压 ADC 读数高 6 位数据。

VC16_LO (D7-D0): 第 6 节电池电压 ADC 读数低 8 位数据。

VC17_HI (D5-D0): 第 7 节电池电压 ADC 读数高 6 位数据。

VC17_LO (D7-D0): 第 7 节电池电压 ADC 读数低 8 位数据。

VCx(6-10)_HI (D5-D0): 第 8~12 节电池电压 ADC 读数高 6 位数据。

VCx(6-10)_LO (D7-D0): 第 8~12 节电池电压 ADC 读数低 8 位数据。

VC26_HI (D5-D0): 第 13 节电池电压 ADC 读数高 6 位数据。

VC26_LO (D7-D0): 第 13 节电池电压 ADC 读数低 8 位数据。

VC27_HI (D5-D0): 第 14 节电池电压 ADC 读数高 6 位数据。

VC27_LO (D7-D0): 第 14 节电池电压 ADC 读数低 8 位数据。

BAT_HI (D7-D0): 电池总压 ADC 读数高 8 位数据。

BAT_LO (D7-D0): 电池总压 ADC 读数低 8 位数据。

注意:

(1) 第 1~5 节电池电压对应的是 VC1~VC5 寄存器，地址是连续的，读取电压数据时可以连续，第 6, 7 节电池电压分别对应

VC16 和 VC17 寄存器，地址与第 1~5 节不是连续的，故电压数据只能单独读取。

(2) 第 8~12 节电池电压对应的是 VC6~VC10 寄存器，地址是连续的，读取电压数据时可以连读，第 13, 14 节电池电压分别对应 VC26 和 VC27 寄存器，地址与第 8~12 节不是连续的，故电压数据只能单独读取。

9.2.9 温度数据寄存器

NAME	ADD	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	R/W	Default	
TS1_HI	0x2C	TS1_TEMP_SRC	RSVD	<13:8>							RO	0x00
TS1_LO	0x2D	<7:0>							RO	0x00		
TS2_HI	0x2E	TS2_TEMP_SRC	RSVD	<13:8>							RO	0x00
TS2_LO	0x2F	<7:0>							RO	0x00		

TS1_HI (D5-D0): 温度采样#1 ADC 读数高 6 位数据。

TS1_LO (D7-D0): 温度采样#1 ADC 读数低 8 位数据。

TS1_TEMP_SRC (D7): 温度采样#1 测量的温度值对应的温度源指示位。

0: 测量的是芯片内部温度。

1: 测量的是芯片外部温度（热敏电阻）。

TS2_HI (D5-D0): 温度采样#2 ADC 读数高 6 位数据。

TS2_LO (D7-D0): 温度采样#2 ADC 读数低 8 位数据。

TS2_TEMP_SRC (D7): 温度采样#2 测量的温度值对应的温度源指示位。

0: 测量的是芯片内部温度。

1: 测量的是芯片外部温度（热敏电阻）。

注意:

(1) 温度数据寄存器 TS1 由 TS1_HI (0x2C) 和 TS1_LO (0x2D) 组成，数据是以 14 位补码形式输出，最高位 TS1 (D13) 为符号位，当 TS1 (D13) = 0 时，表示输出的数据为正数；输出值（补码）= 原码，当 TS1 (D13) = 1 时，表示输出的数据为负数；输出值（补码）= -（反码+1），其中，反码 = ~原码（即对原码进行取反操作）。TS2 与 TS1 一样。

9.2.10 CC_HI (0x32) 和 CC_LO (0x33) 电流数据寄存器

NAME	ADD	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	R/W	Default
CC_HI	0x32	<15:8>							RO	0x00	
CC_LO	0x33	<7:0>							RO	0x00	

CC_HI (D7:D0): 库仑计数器高 8 位数据。

CC_LO (D7:D0): 库仑计数器低 8 位数据。

注意:

(1) 电流数据寄存器 CC 由 CC_HI (0x32) 和 CC_LO (0x33) 组成，数据是以 16 位补码形式输出，最高位 CC (D15) 为符号位，当 CC (D15) = 0 时，表示输出的数据为正数（充电电流），输出值（补码）= 原码，当 CC (D15) = 1 时，表示输出的数据值为负数（放电电流）；输出值（补码）= -（反码+1），反码 = ~原码（即对原码进行取反操作）。

9.2.11 SYS_STAT2 (0x40) 状态寄存器

NAME	ADD	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	R/W	Default
SYS_STAT2	0x40	VADC_READY	I2C_TIMEOUT	BAL_TIMEOUT	CHARGE_DET	OCD2	OCC	UT	OT	R/W1C	0x00

OT (D0): 过温故障状态指示位。

- 0: 没有检测到 OT 故障，或故障已被主机清除。
- 1: 检测到 OT 故障，并一直保持高电平状态，直到被主机清除。

UT (D1): 欠温故障状态指示位。

- 0: 没有检测到 UT 故障，或故障已被主机清除。
- 1: 检测到 UT 故障，并一直保持高电平状态，直到被主机清除。

OCC (D2): 充电过流故障状态指示位。

- 0: 没有检测到 OCC 故障，或故障已被主机清除。
- 1: 检测到 OCC 故障，并一直保持高电平状态，直到被主机清除。

OCD2 (D3): 放电过流 2 故障状态指示位。

- 0: 没有检测到 OCD2 故障，或故障已被主机清除。
- 1: 检测到 OCD2 故障，并一直保持高电平状态，直到被主机清除。

CHARGE_DET (D4): 充电器在线状态检测指示位。

- 0: 没有检测到充电器在线，或状态已被主机清除。
- 1: 检测到充电器在线，并一直保持高电平状态，直到被主机清除。

注意:

(1) 该处与 SYS_CTRL1 (D6) 充电器是否存在指示位有区别，SYS_CTRL1 (D6) 是只读，当充电器被移除后，会自动清除，而 SYS_STAT2 (D4) 是告诉主机是否有充电器，它的清除必须由主机写 1 来完成，同时通过配置 ST2_ALERT_MASK (0x41) 寄存器，来实现充电器在线时是否触发 ALERT 中断信号（默认是触发 ALERT 中断信号）。

BAL_TIMEOUT (D5): 均衡看门狗超时状态指示位。

- 0: 未检测到均衡超时，或故障已被主机清除。
- 1: 检测到均衡超时，并一直保持高电平状态，直到被主机清除。

I2C_TIMEOUT (D6): I2C 通信看门狗超时状态指示位。

- 0: 未检测到 I2C 通信超时，或故障已被主机清除。
- 1: 检测到 I2C 通信超时，并一直保持高电平状态，直到被主机清除。

VADC_READY (D7): 电压 ADC 数据更新状态指示位。

- 0: 未检测到电压 ADC 数据更新指示，或状态已被主机清除。
- 1: 检测到电压 ADC 数据更新指示，并一直保持高电平状态，直到被主机清除。

9.2.12 ST2_ALERT_MASK (0x41) 屏蔽 ALERT 引脚输出中断信号控制寄存器

NAME	ADD	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	R/W	Default
ST2_ALERT_MASK	0x41	VADC_READY_M	I2C_TIMEOUT_M	BAL_TIMEOUT_M	CHARGE_DET_M	OCD2_M	OCC_M	UT_M	OT_M	RW	0xef

OT_M (D0): 控制当 SYS_STAT2 (0x40) 中的 OT = 1 时是否触发 ALERT 引脚输出中断信号。

- 0: 发生 OT 保护时触发 ALERT 引脚输出中断信号。
- 1: 发生 OT 保护时不触发 ALERT 引脚输出中断信号。

UT_M (D1): 控制当 SYS_STAT2 (0x40) 中的 UT = 1 时是否触发 ALERT 引脚输出中断信号。

- 0: 发生 UT 保护时触发 ALERT 引脚输出中断信号。
- 1: 发生 UT 保护时不触发 ALERT 引脚输出中断信号。

OCC_M (D2): 控制当 SYS_STAT2 (0x40) 中的 OCC = 1 时是否触发 ALERT 引脚输出中断信号。

- 0: 发生 OCC 保护时触发 ALERT 引脚输出中断信号。
- 1: 发生 OCC 保护时不触发 ALERT 引脚输出中断信号。

OCD2_M (D3): 控制当 SYS_STAT2 (0x40) 中的 OCD2 = 1 时是否触发 ALERT 引脚输出中断信号。

- 0: 发生 OCD2 保护时触发 ALERT 引脚输出中断信号。
- 1: 发生 OCD2 保护时不触发 ALERT 引脚输出中断信号。

CHARGE_DET_M (D4): 控制当 SYS_STAT2 (0x40) 中的 CHARGE_DET = 1 时是否触发 ALERT 引脚输出中断信号。

- 0: 检测到充电器在线时触发 ALERT 引脚输出中断信号。
- 1: 检测到充电器在线时不触发 ALERT 引脚输出中断信号。

BAL_TIMEOUT_M (D5): 控制当 SYS_STAT2 (0x40) 中的 BAL_TIMEOUT = 1 时是否触发 ALERT 引脚输出中断信号。

- 0: 检测到均衡超时时触发 ALERT 引脚输出中断信号。
- 1: 检测到均衡超时时不触发 ALERT 引脚输出中断信号。

I2C_TIMEOUT_M (D6): 控制当 SYS_STAT2 (0x40) 中的 I2C_TIMEOUT = 1 时是否触发 ALERT 引脚输出中断信号。

- 0: 检测到 I2C 通信超时时触发 ALERT 引脚输出中断信号。
- 1: 检测到 I2C 通信超时时不触发 ALERT 引脚输出中断信号。

VADC_READY_M (D7): 控制当 SYS_STAT2 (0x40) 中的 VADC_READY = 1 时是否触发 ALERT 引脚输出中断信号。

- 0: 检测到电压 ADC 数据更新后触发 ALERT 引脚输出中断信号。
- 1: 检测到电压 ADC 数据更新后不触发 ALERT 引脚输出中断信号。

9.2.13 ST_FETC_MASK (0x42) 屏蔽 FET 管关断控制寄存器

NAME	ADD	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	R/W	Default
ST_FETC_MASK	0x42	RSVD		XREADY_FETC_M	ALERT_FETC_M	UV_FETC_M	OV_FETC_M	SCD_FETC_M	OCD1_FETC_M	RW	0x00

OCD1_FETC_M (D0): 当 SYS_STAT (0x00) 中的 OCD1 = 1 时是否关断 DSG 引脚输出。

- 0: 关断 DSG 引脚输出。
- 1: 不关断 DSG 引脚输出。

SCD_FETC_M (D1): 当 SYS_STAT (0x00) 中的 SCD = 1 时是否关断 DSG 引脚输出。

- 0: 关断 DSG 引脚输出。
- 1: 不关断 DSG 引脚输出。

OV_FETC_M (D2): 当 SYS_STAT (0x00) 中的 OV = 1 时是否关断 CHG 引脚输出。

- 0: 关断 CHG 引脚输出。

1: 不关断 CHG 引脚输出。

UV_FETC_M (D3): 当 SYS_STAT (0x00) 中的 UV = 1 时是否关断 DSG 引脚输出。

0: 关断 DSG 引脚输出。

1: 不关断 DSG 引脚输出。

ALERT_FETC_M (D4): 当 SYS_STAT (0x00) 中的 OVRD_ALERT = 1 时是否同时关断 CHG 引脚和 DSG 引脚以及 PCDG 引脚输出。

0: 同时关断 CHG 引脚和 DSG 引脚以及 PCDG 引脚输出。

1: 不关断 CHG 引脚和 DSG 引脚以及 PCDG 引脚输出

XREADY_FETC_M (D5): 当 SYS_STAT (0x00) 中的 DEVICE_XREADY = 1 时是否同时关断 CHG 引脚和 DSG 引脚以及 PCDG 引脚输出。

0: 同时关断 CHG 引脚和 DSG 引脚以及 PCDG 引脚输出。

1: 不关断 CHG 引脚和 DSG 引脚以及 PCDG 引脚输出。

9.2.14 ST2_FETC_MASK (0x43) 屏蔽 FET 管关断控制寄存器

NAME	ADD	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	R/W	Default
ST2_FETC_MASK	0x43	RSVD	I2C_TIMEOUT_FETC_M	BAL_TIMEOUT_FETC_M	RSVD	OCD2_FETC_M	OCC_FETC_M	UT_FETC_M	OT_FETC_M	RW	0xff

OT_FETC_M (D1): 当 SYS_STAT2 (0x40) 中的 OT = 1 时是否同时关断 CHG 引脚和 DSG 引脚以及 PCDG 引脚输出。

0: 同时关断 CHG 引脚和 DSG 引脚以及 PCDG 引脚输出。

1: 不关断 CHG 引脚和 DSG 引脚以及 PCDG 引脚输出。

UT_FETC_M (D1): 当 SYS_STAT2 (0x40) 中的 UT = 1 时是否同时关断 CHG 引脚和 DSG 引脚以及 PCDG 引脚输出。

0: 同时关断 CHG 引脚和 DSG 引脚以及 PCDG 引脚输出。

1: 不关断 CHG 引脚和 DSG 引脚以及 PCDG 引脚输出。

OCC_FETC_M (D2): 当 SYS_STAT2 (0x40) 中的 OCC = 1 时是否关断 CHG 引脚输出。

0: 关断 CHG 引脚输出。

1: 不关断 CHG 引脚输出。

OCD2_FETC_M (D3): 当 SYS_STAT2 (0x40) 中的 OCD2 = 1 时是否关断 DSG 引脚输出。

0: 关断 DSG 引脚输出。

1: 不关断 DSG 引脚输出。

BAL_TIMEOUT_FETC_M (D5): 当 SYS_STAT2 (0x40) 中的 BAL_TIMEOUT = 1 时是否同时关断 CHG 引脚和 DSG 引脚以及 PCDG 引脚输出。

0: 同时关断 CHG 引脚和 DSG 引脚以及 PCDG 引脚输出。

1: 不关断 CHG 引脚和 DSG 引脚以及 PCDG 引脚输出。

I2C_TIMEOUT_FETC_M (D6): 当 SYS_STAT2 (0x40) 中的 I2C_TIMEOUT = 1 时是否同时关断 CHG 引脚和 DSG 引脚以及 PCDG 引脚输出。

0: 同时关断 CHG 引脚和 DSG 引脚以及 PCDG 引脚输出。

1: 不关断 CHG 引脚和 DSG 引脚以及 PCDG 引脚输出。

9.2.15 芯片外部温度和内部温度 OT/UT 保护阈值设置寄存器

NAME	ADD	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	R/W	Default
TS1_EXT_OT_TH	0x45	<7:0>								RW	0x00
TS2_EXT_OT_TH	0x46	<7:0>								RW	0x00
TS1_EXT_UT_TH	0x48	<7:0>								RW	0x00
TS2_EXT_UT_TH	0x49	<7:0>								RW	0x00
TS_INT_OT_TH	0x4B	<7:0>								RW	0xf2
TS_INT_UT_TH	0x4C	<7:0>								RW	0x08
TS_INT_OT_TH_6LSB	0x50	RSVD		<5:0>						RW	0x00
TS_INT_UT_TH_6LSB	0x51	RSVD		<5:0>						RW	0x00
TS1_EXT_OT_TH_6LSB	0x63	RSVD		<5:0>						RW	0x00
TS2_EXT_OT_TH_6LSB	0x64	RSVD		<5:0>						RW	0x00
TS1_EXT_UT_TH_6LSB	0x66	RSVD		<5:0>						RW	0x00
TS2_EXT_UT_TH_6LSB	0x67	RSVD		<5:0>						RW	0x00

TS1_EXT_OT_TH (D7-D0): 芯片外部温度#1 的 OT 阈值高 8 位数据。

TS2_EXT_OT_TH (D7-D0): 芯片外部温度#2 的 OT 阈值高 8 位数据。

TS1_EXT_OT_TH_6LSB (D5-D0): 芯片外部温度#1 的 OT 阈值低 6 位数据。

TS2_EXT_OT_TH_6LSB (D5-D0): 芯片外部温度#2 的 OT 阈值低 6 位数据。

芯片外部温度#1 和#2 OT 保护阈值均由 14 位数据组成，以#1 为例，配置参考示例如下：

OT 阈值高 8 位	OT 阈值低 6 位	芯片外部温度
TS1_EXT_OT_TH (D7-D0)	TS1_EXT_OT_TH_6LSB (D5-D0)	OT 阈值
1101 1001	10 0000	60°C
1100 1100	10 0011	85°C

TS1_EXT_UT_TH (D7-D0): 芯片外部温度#1 的 UT 阈值高 8 位数据。

TS2_EXT_UT_TH (D7-D0): 芯片外部温度#2 的 UT 阈值高 8 位数据。

TS1_EXT_UT_TH_6LSB (D5-D0): 芯片外部温度#1 的 UT 阈值低 6 位数据。

TS2_EXT_UT_TH_6LSB (D5-D0): 芯片外部温度#2 的 UT 阈值低 6 位数据。

芯片外部温度#1 和#2 UT 保护阈值由 14 位数据组成，以#1 为例，配置参考示例如下：

UT 阈值高 8 位	UT 阈值低 6 位	芯片外部温度
TS1_EXT_UT_TH (D7-D0)	TS1_EXT_UT_TH_6LSB (D5-D0)	UT 阈值
0010 0010	10 1001	0°C
0011 0100	11 1010	-20°C

TS_INT_OT_TH (D7-D0): 芯片内部温度的 OT 阈值高 8 位数据。

TS_INT_OT_TH_6LSB (D5-D0): 芯片内部温度的 OT 阈值低 6 位数据。

芯片内部温度#1 和#2 的 OT 保护阈值由 14 位数据组成（#1 和#2 共用一组阈值），配置参考示例如下：

OT 阈值高 8 位	OT 阈值低 6 位	芯片内部温度
TS_INT_OT_TH (D7-D0)	TS_INT_OT_TH_6LSB (D5-D0)	OT 阈值
1111 1000	11 0000	60°C
1111 0101	00 0010	85°C

TS_INT_UT_TH (D7-D0): 芯片内部温度的 UT 阈值高 8 位数据。

TS_INT_UT_TH_6LSB (D5-D0): 芯片内部温度的 UT 阈值低 6 位数据

芯片内部温度#1 和#2 的 UT 保护阈值由 14 位数据组成 (#1 和#2 共用一组阈值)，配置参考示例如下:

UT 阈值高 8 位	UT 阈值低 6 位	芯片内部温度 UT 阈值
TS_INT_UT_TH (D7-D0)	TS_INT_UT_TH_6LSB (D5-D0)	
0000 0001	10 1001	0°C
0000 0100	10 0111	-20°C

注意:

(1) SYS_CTRL1 (0x04) 寄存器中的 TEMP_SRC_EN = 0 时, 芯片内部温度和芯片外部温度共用同一组 OT/UT 阈值。OT 阈值是 TS_INT_OT_TH (0x4B) 和 TS_INT_OT_TH_6LSB (0x50) 寄存器配置的值; UT 阈值是 TS_INT_UT_TH (0x4C) 和 TS_INT_UT_TH_6LSB (0x51) 寄存器配置的值, 与 BQ769x0 兼容。

(2) 高温 (OT) 保护阈值设置范围是: 30°C~85°C; 低温 (UT) 保护阈值范围是: -40°C~20°C。

(3) 温度数据寄存器 TS1 由 TS1_HI (0x2C) 和 TS1_LO (0x2D) 组成, 数据是以 14 位补码形式输出, 最高位 TS1 (D13) 为符号位, 当 TS1 (D13) = 0 时, 表示输出的数据为正数; 输出值 (补码) = 原码, 当 TS1 (D13) = 1 时, 表示输出的数据为负数; 输出值 (补码) = - (反码+1), 反码 = ~原码 (即对原码进行取反操作)。TS2 与 TS1 一样。

9.2.16 OT_DELAY (0x4D) 和 UT_DELAY (0x4E) OT/UT 温度保护延时设置寄存器

NAME	ADD	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	R/W	Default
OT_DELAY	0x4D	OT_DELAY <7:0>								RW	0x00
UT_DELAY	0x4E	UT_DELAY <7:0>								RW	0x00

OT_DELAY (D7-D0): 过温保护延时设置, 过温保护延时范围为 2s×N (N = 0-255), 延时设置精度为 2s/step。

过温度保护延时由 8 位数据组成, 配置参考示例如下:

OT_DELAY (D7-D0)	延时
0000 0000	0s
0000 0001	2s
1111 1111	510s

UT_DELAY (D7-D0): 欠温保护延时设置, 欠温保护延时范围为 2s×N (N = 0-255), 延时设置精度为 2s/step。

欠温度保护延时由 8 位数据组成, 配置参考示例如下:

UT_DELAY (D7-D0)	延时
0000 0000	0s
0000 0001	2s
1111 1111	510s

注意:

(1) OT/UT 温度保护延时不区分芯片外部温度和芯片内部温度, 即芯片外部温度 OT 保护延时和芯片内部温度 OT 保护延时相同, 芯片外部温度 UT 保护延时和芯片内部温度 UT 保护延时相同。

9.2.17 BALANCE_WTD (0x52) 均衡看门狗寄存器

NAME	ADD	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	R/W	Default	
BALANCE_WTD	0x52	CB_EN	CB_MUL<2:0>			CB_TIMER<3:0>					RW	0x00

CB_TIMER (D3-D0): 均衡看门狗超时时间 N (N = 0~15), 精度为 1s/step, 单位为秒。

CB_MUL (D6-D4): 均衡看门狗超时时间 M (M = 1, 4, 16, 64, 128, 256)。

均衡看门狗超时时间 = N × M，最大超时时间 3840s，当 BALANCE_WTD (0x52) = 0x00 时，表示立即触发均衡超时。

CB_MUL (D6-D4) M		CB_TIMER (D3-D0) N 0~15s
001	1x	
010	4x	
011	16x	
100	64x	
101	128x	
110	256x	

CB_EN (D7): 均衡看门狗使能位。

0: 禁用均衡看门狗定时器。

1: 启用均衡看门狗定时器。

9.2.18 I2C_WTD (0x53) I2C 看门狗寄存器

NAME	ADD	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	R/W	Default
I2C_WTD	0x53	I2C_WATCH_DOG<7:0>								RW	0x00

I2C_WATCH_DOG (D7-D0): 配置 I2C_WTD (0x53) 寄存器不等于 0，即可启动 I2C 看门狗。I2C_WTD (0x53) 寄存器的值代表超时时间，单位为秒，可配置范围为 1~255 秒。如 I2C_WTD (0x53) = 0x00 表示不启动 I2C 看门狗(默认)；当 I2C_WTD (0x53) = N > 0，表示启动 I2C 看门狗，超时时间为 N×1s。

9.2.19 ADC_MODE (0x54) 电压 ADC 采样间隔周期设置寄存器

NAME	ADD	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	R/W	Default
ADC_MODE	0x54	TEMP_SAMP_MODE<7:4>				ADC_SAMP_MODE<3:0>				RW	0x00

ADC_SAMP_MODE (D3-D0): 控制电压 ADC 的采样间隔周期 (每 250ms × (N+1) 采样一次，默认为 250ms 一次)。

ADC_SAMP_MODE (D3-D0)	N	电压测量采样间隔周期
0000	0 (默认)	250ms (默认)
0001	1	500ms
0010	3	1s
0011	7	2s
0100	15	4s
0101	31	8s

ADC_SAMP_MODE (D7-D4): 控制温度测量的采样间隔周期。

当 ADC_SAMP_MODE (D3-D0) = N < 4 时，温度测量按照 ADC_SAMP_MODE (D3-D0) 配置的间隔进行测量；当 ADC_SAMP_MODE (D3-D0) = 4 或 5 时，温度测量分别设置为 4s，8s 测量一次。

TEMP_SAMP_MODE (D7-D4)	N	温度测量采样间隔周期
0000	7 (默认)	2s (默认)
0001	3	1s
0011	1	500ms
0100	0	250ms

默认情况下，电压 ADC 采样周期为 250ms (N = 0)，温度采样周期为 2s (N = 7)。当电压 ADC 采样周期 < 2s (N < 7)，温度采样周期可以配置为 250ms，500ms 和 1s。当电压 ADC 采样周期配置为 4s，8s 时，那么温度测量周

期也对应为 4s, 8s。

9.2.20 VERSION (0x56) 芯片版本信息寄存器

NAME	ADD	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	R/W	Default
VERSION	0x56	RSVD	VC_X6_EN	VC_X7_EN	CHIP_TYPE<1:0>		I2C_ADD_TYPE	LDO_TYPE	CRC_EN	RO	0x01

CRC_EN (D0): I2C 通讯 CRC 校验使能位。

- 0: 禁用 CRC 校验功能。
- 1: 启用 CRC 校验功能。

LDO_TYPE (D1): REGOUT LDO 输出电压选择位。

- 0: REGOUT LDO 输出电压为 3.3V。
- 1: REGOUT LDO 输出电压为 2.5V。

I2C_ADD_TYPE (D2): 芯片 I2C 地址选择位。

- 0: 器件地址为 0x08。
- 1: 器件地址为 0x18。

CHIP_TYPE (D4-D3): 芯片类型说明:

CHIP_TYPE (D4-D3)	芯片类型
00	ONE DIE
01	TWO DIE
11	THREE DIE

VC_X6_EN (D6), VC_X7_EN (D5): 每个 DIE 最多可以测量的电池节数:

VC_X6_EN (D6)	VC_X7_EN (D5)	芯片类型
0	0	5 节
0	1	6 节
1	1	7 节

9.2.21 INTF_CTRL (0x58) 控制寄存器

NAME	ADD	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	R/W	Default	
INTF_CTRL	0x58	RSVD				OVRD_ALERT_EN	CC_READY_ALERT_EN	I2C_WTD_TO_SHIP	WAKEUP_ALERT_EN		RW	0x05

WAKEUP_ALERT_EN (D0): 当 SYS_STAT1 (0x00) 中的 SNS_WAKEUP = 1 时是否会触发 ALERT 引脚输出中断信号。

- 0: SNS_WAKEUP = 1 时不触发 ALERT 引脚输出中断信号。
- 1: SNS_WAKEUP = 1 时触发 ALERT 引脚输出中断信号。

I2C_WTD_TO_SHIP (D1): I2C 看门狗访问超时是否使芯片进入 SHIP 模式

- 0: I2C 看门狗访问超时芯片不会进入 SHIP 模式。
- 1: I2C 看门狗访问超时芯片进入 SHIP 模式。

CC_READY_ALERT_EN (D2): 当 SYS_STAT1 (0x00) 中的 CC_READY = 1 时是否会触发 ALERT 引脚输出中断信号。

- 0: CC_READY = 1 时不触发 ALERT 引脚输出中断信号。
- 1: CC_READY = 1 时触发 ALERT 引脚输出中断信号。

OVRD_ALERT_EN (D3): 当 SYS_STAT1 (0x00) 中的 OVRD_ALERT = 1 时是否会触发 ALERT 引脚输出中断信号。

0: OVRD_ALERT = 1 时不触发 ALERT 引脚输出中断信号。

1: OVRD_ALERT = 1 时触发 ALERT 引脚输出中断信号。

9.2.22 电流保护比较阈值和延时设置寄存器

NAME	ADD	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	R/W	Default		
OCD1_THRESH	0x5B	RSVD			OCD_THRESH<5:0>							RW	0x02
SCD_THRESH	0x5C	RSVD			SCD_THRESH<3:0>							RW	0x01
OCD1_DELAY	0x5D	<7:0>									RW	0x02	
SCD_DELAY	0x5E	<7:0>									RW	0x05	
OCC_THRESH	0x5F	RSVD			OCC_THRESH<5:0>							RW	0x02
OCD2_THRESH	0x60	RSVD			OCD2_THRESH<5:0>							RW	0x0a
OCC_DELAY	0x61	<7:0>									RW	0x02	
OCD2_DELAY	0x62	<7:0>									RW	0x0a	

OCD1_THRESH (D5-D0): OCD1 保护阈值 6 位数据。

SCD_THRESH (D3-D0): SCD 保护阈值 4 位数据。

OCD1_DELAY (D7-D0): OCD1 保护延时 8 位数据。

SCD_DELAY (D7-D0): SCD 保护延时 8 位数据。

OCC_THRESH (D5-D0): OCC 保护阈值 6 位数据。

OCD2_THRESH (D3-D0): OCD2 保护阈值 6 位数据。

OCC_DELAY (D7-D0): OCC 保护延时 8 位数据。

OCD2_DELAY (D7-D0): OCD2 保护延时 8 位数据。

比较器阈值及延时设置 (M、N 为寄存器的值)，当比较器延时寄存器的值 $N = 0$ 时，表示立即触发(同步需要 $2 \sim 6\mu s$)，当 M 取值超出范围时，截取到最大值。

基于比较器的 保护功能	阈值		延时 ($N = 0 \sim 255$)
	范围 (M)	Step	
SCD	SCD_THRESH (D3-D0) :		$4\mu s \times N$ (默认: $N = 5$)
	0 = -15 mV		
	1 = -30 mV		
	2 = -60mV		
	3 = -90 mV		
	4 = -120 mV		
	5 = -150 mV		
	6 = -187.5 mV		
	7 = -225 mV		
	8 = -262.5 mV		
	9 = -300mV		
	10 = -375 mV		
	11 = -450mV		
	12 = -525 mV		
	13 = -600 mV		
14 = -675 mV			

基于比较器的 保护功能	阈值		延时 (N = 0~255)
	范围 (M)	Step	
	15 = -750 mV (默认: M=1)		
OCC	OCC_THRESH (D5-D0) : 6 ~ 186mV = (6mV + 3mV×M) (默认: M=2) M 取值范围: 0~60 (大于 60 则取 60)	3mV	4ms×N (默认: N = 2)
OCD1	OCD1_THRESH (D5-D0) : -6~-300mV = (-6mV - 6mV×M) (默认: M=2) M 取值范围: 0~49 (大于 49 则取 49)	6mV	4ms×N (默认: N = 2)
OCD2	OCD2_THRESH (D5-D0) : -6~-300mV = (-6mV - 6mV×M) (默认: M=10) M 取值范围: 0~49 (大于 49 则取 49)	6mV	4ms×N (默认: N = 10)

9.2.23 MAGIC_NUM0 (0x6A) 和 MAGIC_NUM1 (0x6B) 特殊寄存器访问权限配置寄存器

NAME	ADD	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	R/W	Default
MAGIC_NUM0	0x6A					<7:0>				RW	0x00
MAGIC_NUM1	0x6B					<7:0>				RW	0x00

MAGIC_NUM0 (0x6A) 与 MAGIC_NUM1 (0x6B) 配合使用: 当满足 MAGIC_NUM0 = 0x07 和 MAGIC_NUM1 = 0x55 时, 才允许对地址 ADD = 0x6C~0x7F 的寄存器进行读写访问。

9.2.24 UART 读写操作寄存器

NAME	ADD	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	R/W	Default
UART_WDATA	0x6D					<7:0>				RW	0x00
UART_ADDR	0x6E					<7:0>				RW	0x00
UART_CMD	0x6F				RSVD			UART_READ	UART_WRITE	RW/HWC	0x00
UART_RDATA_HI	0x70					<7:0>				RO	0x00
UART_RDATA_LO	0x71					<7:0>				RO	0x00

UART_WDATA (D7-D0): 表示需要写入到 UART 寄存器的数据。

UART_ADDR (D7-D0): 表示需要写入数据的 UART 寄存器地址。

UART_WRITE (D0): 表示是否触发对 UART 寄存器进行写的操作。

0: 无操作。

1: 触发对 UART 寄存器进行写的操作。

UART_READ (D1): 表示是否触发对 UART 寄存器进行读的操作。

0: 无操作。

1: 触发对 UART 寄存器进行读的操作。

UART_RDATA_HI (D7-D0): 表示读取的 UART 寄存器高 8 位数据。

UART_RDATA_LO (D7-D0): 表示读取的 UART 寄存器低 8 位数据。

以下是通过 I2C 间接访问 UART 寄存器的操作示例：

写 UART 寄存器的操作示例：

Write #0: MAGIC_NUM0 = 0x07 ;

MAGIC_NUM1 = 0x55 ; % 配置允许访问 UART 寄存器的权限。

Write #1: UART_ADDR = 0x32 ; % 配置要写入数据的 UART 寄存器地址，假设要操作的地址为 0x32。

Write #2: UART_WDATA = 0x04 ; % 配置要写入到地址为 0x32 的 UART 寄存器的数据，假设数据为 0x04。

Write #3: UART_CMD = 0x01 ; % 配置 UART_CMD 寄存器中的 UART_WRITE 位为 1，触发 UART 写操作。

9.2.25 CCMODE (0x80) 电流 ADC 过采样控制寄存器

NAME	ADD	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	R/W	Default
CC_MODE	0x80	RSVD				CC_OSR<3:0>				RW	0x00

CC_OSR (D3-D0): 控制电流 ADC 的 OSR。电流 ADC 过采样几次后输出数据，例如 OSR = 8 表示电流 ADC 采样 8 次就输出电流数据。

CC_OSR (D3-D0)	OSR
0000	2048
0001	1024
0010	512
0011	256
0100	128
0101	64
0110	32
0111	16
1000	8
其他	2048

9.2.26 SENSE_CTRL (0x85) 小电流信号唤醒功能控制寄存器

NAME	ADD	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	R/W	Default
SENSE_CTRL	0x85	RSVD				AUTO_DSGFET_ON	AUTO_CHGFET_ON	CADC_SENSE_EN	RW	0x00	

CADC_SENSE_EN (D0): 小电流信号唤醒使能位。

0: 禁用小电流信号唤醒。

1: 启用小电流信号唤醒。

AUTO_CHGFET_ON (D1): 小电流信号唤醒后是否自主打开 CHG 引脚输出。

0: 不会自动打开 CHG 引脚输出。

1: 自动打开 CHG 引脚输出。

AUTO_DSGFET_ON (D2): 小电流信号唤醒后是否自主打开 DSG 引脚输出。

0: 不会自动打开 DSG 引脚输出。

1: 自动打开 DSG 引脚输出。

9.2.27 小电流信号唤醒阈值设置寄存器

NAME	ADD	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	R/W	Default
CHG_CADC_TH_HI	0x86	<7:0>								RW	0x00
CHG_CADC_TH_LO	0x87	<7:0>								RW	0x00
DSG_CADC_TH_HI	0x88	<7:0>								RW	0x00
DSG_CADC_TH_LO	0x89	<7:0>								RW	0x00

CHG_CADC_TH_HI (D7-D0): 充电小电流信号唤醒阈值的高 8 位数据。

CHG_CADC_TH_LO (D7-D0): 充电小电流信号唤醒阈值的低 8 位数据。

DSG_CADC_TH_HI (D7-D0): 放电小电流信号唤醒阈值的高 8 位数据。

DSG_CADC_TH_LO (D7-D0): 放电小电流信号唤醒阈值的低 8 位数据。

小电流信号唤醒阈值由 16 位数据组成，配置参考示例如下：

寄存器	小电流信号唤醒阈值 (补码)	小电流信号唤醒阈值 (十进制)	小电流信号唤醒阈值 (μ V)
CHG_CADC_TH_HI 和 CHG_CADC_TH_LO	0x000a	10	82.4
DSG_CADC_TH_HI 和 DSG_CADC_TH_LO	0xffff6	-10	-82.4

注意：

- (1) 配置 CHG_CADC_TH_HI 和 CHG_CADC_TH_LO 寄存器，对应的是充电小电流唤醒，达到该阈值会自动打开 DSG 引脚输出。
- (2) 配置 DSG_CADC_TH_HI 和 DSG_CADC_TH_LO 寄存器，对应的是放电小电流唤醒，达到该阈值会自动打开 CHG 引脚输出。
- (3) 由于放电电流是负数，故 DSG_CADC_TH_HI 和 DSG_CADC_TH_LO 需要配置为补码。具体参考 9.2.10 电流数据寄存器。

9.2.28 REGA_CFG_BOT_CAP (0x92) CAP1 LDO 输出电压配置寄存器

NAME	ADD	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	R/W	Default	
REGA_CFG_BOT_CAP	0x92	RSVD					BOT_CAP_VSEL<2:0>				RW	0x00

BOT_CAP_VSEL (D2-D0): 芯片 CAP1 LDO 输出电压配置：

BOT_CAP_VSEL (D2-D0)	CAP1 LDO 输出电压
000	4.505V
001	4.458V
010	4.412V
011	4.366V
100	4.686V
101	4.643V
110	4.597V
111	4.551V

注意：

- (1) 建议 CAP1 LDO 输出电压配置为 4.686V，在低温时电压 ADC 精度会更好，特别是在 -30℃ 以下。

9.2.29 REGA_CFG_BOT_CA (0x94) BOT CA 运放电流配置寄存器

NAME	ADD	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	R/W	Default
REGA_CFG_BOT_CA	0x94	BOT_CA_ASEL<2:0>				RSVD				RW	0x00

BOT_CA_ASEL (D7-D5): 芯片 BOT CA 运放电流配置:

BOT_CA_ASEL (D7-D5)	BOT CA 运放电流
000	250nA
001	187.5nA
010	125nA
011	62.5nA
100	500nA
101	437.5nA
110	375nA
111	312.5nA

注意:

(1) 建议 BOT CA 运放电流配置为 187.5nA, 在低温时电压 ADC 精度会更好, 特别是在-30℃以下。

9.2.30 RES_TS1_BIAS (0x95) TS1 引脚内部上拉电阻配置寄存器

NAME	ADD	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	R/W	Default	
RES_TS1_BIAS	0x95	RES_TS1_BIAS	RSVD								RW	0x00

RES_TS1_BIAS (D7): 芯片 TS1 引脚内部上拉基准电阻配置。

- 0: 配置内部偏置电阻为 10K。
- 1: 配置内部偏置电阻为 100K。

注意:

(1) 当选择内部偏置电阻为 10K 时, TS1 引脚外接的热敏电阻也要使用 10K 阻值; 选择内部偏置电阻为 100K 时, TS1 引脚外接的热敏电阻也要使用 100K 阻值。

9.2.31 CC_ADC_LP (0xA1) 电流 ADC 偏置电流调节寄存器

NAME	ADD	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	R/W	Default
CC_ADC_LP	0xA1	RSVD			CC_ADC_LP <1:0>		RSVD			RW	0x00

CC_ADC_LP (D4-D3): 电流 ADC 偏置电流调节:

CC_ADC_LP (D4-D3)	偏置电流值
00	1uA
01	1.5uA
10	禁用
11	0.5uA

9.2.32 FETDRV_CTRL1 (0xA5) 和 FETDRV_CTRL2 (0xA6) 负载在线状态检测和 FETOFF 控制寄存器

NAME	ADD	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	R/W	Default	
FETDRV_CTRL1	0xA5	LOAD_IN_RES <1:0>		RSVD							RW	0x00
FETDRV_CTRL2	0xA6	RSVD	LOAD_DETECT <2:0>		LOAD_DETECT_EN	RSVD	FETOFF_PWM_MASK	FETOFF_IN_MODE		RW	0x00	

LOAD_IN_RES (D7-D6): 负载在线状态检测内部下拉电阻配置:

LOAD_IN_RES (D7-D6)	负载在线状态检测内部下拉电阻值
00	0R
01	160K

LOAD_IN_RES (D7-D6)	负载在线状态检测内部下拉电阻值
10	250K
11	600K

FETOFF_IN_MODE (D0): FETOFF 引脚输入模式选择

0: 快速关断模式, FETOFF 引脚为高电平, 可以同时快速关断 DSG 引脚输出和 PCDG 引脚输出 (当 YS_CTRL2 (0x05) 中的 PFET_IS_CHG=0 时, 即 PFET 管为放电属性)。

1: PWM 输入模式, FETOFF 引脚以 PWM 信号控制 DSG 引脚。

FETOFF_PWM_MASK (D1): FETOFF 引脚在 PWM 输入模式下, 是否屏蔽内部保护发生后自动关断 DSG 引脚输出

0: 不屏蔽内部保护自动关断 DSG 引脚输出。

1: 屏蔽内部保护自动关断 DSG 引脚输出情况 (如发生 OT, UT, OV, UV 等保护不会关断 DSG 引脚输出)。

LOAD_DETECT_EN (D3): 负载在线状态检测功能使能控制

0: 禁用负载在线状态检测功能。

1: 启用负载在线状态检测功能。

LOAD_DETECT (D6-D4): 负载在线状态检测阈值电压配置:

LOAD_DETECT (D6-D4)	负载在线状态检测阈值电压
000	1V
001	1.1V
010	1.2V
011	1.3V
100	0.9V
101	0.8V
110	0.7V
111	0.6V

9.3 UART 寄存器详细说明

9.3.1 REGA_CFG_TOP_CAP (0x32) CAP2 LDO 电压配置寄存器

NAME	ADD	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	R/W	Default
REGA_CFG_TOP_CAP	0x32	RSVD					TOP_CAP_VSEL<2:0>			RW	0x00

TOP_CAP_VSEL (D2-D0): CAP2 LDO 输出电压配置, 参考 9.2.28。

注意:

(1) 建议 CAP2 LDO 输出电压均配置为 4.686V, 在低温时电压 ADC 精度会更好, 特别是在 -30℃ 以下。具体配置操作参考 9.2.24。

9.3.2 REGA_CFG_TOP_CA (0x34) TOP CA 运放电流配置寄存器

NAME	ADD	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	R/W	Default	
REGA_CFG_TOP_CA	0x34	TOP_CA_ASEL<7:5>			RSVD						RW	0x00

TOP_CA_ASEL (D7-D5): 芯片 TOP CA 电流配置, 参考 9.2.29。

注意:

(1) 建议 TOP CA 运放电流均配置为 187.5nA，在低温时电压 ADC 精度会更好，特别是在-30℃以下。具体配置操作参考 9.2.24。

9.3.3 RES_TS2_BIAS (0x35) TS2 引脚内部上拉电阻配置寄存器

NAME	ADD	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	R/W	Default
RES_TS2_BIAS	0x35	RES_TS2_BIAS								RW	0x00

RES_TS2_BIAS (D7): 芯片 TS2 引脚内部上拉基准电阻配置。

0: 配置内部偏置电阻为 10K。

1: 配置内部偏置电阻为 100K。

注意:

(1) 当选择内部偏置电阻为 10K 时，TS2 引脚外接的热敏电阻也要使用 10K 阻值；选择内部偏置电阻为 100K 时，TS2 引脚外接的热敏电阻也要使用 100K 阻值。具体配置操作参考 9.2.24。

10. 封装尺寸

LS76935 采用 LQFP48 标准封装，湿敏等级为 MSL-3，芯片具体尺寸如下图所示：

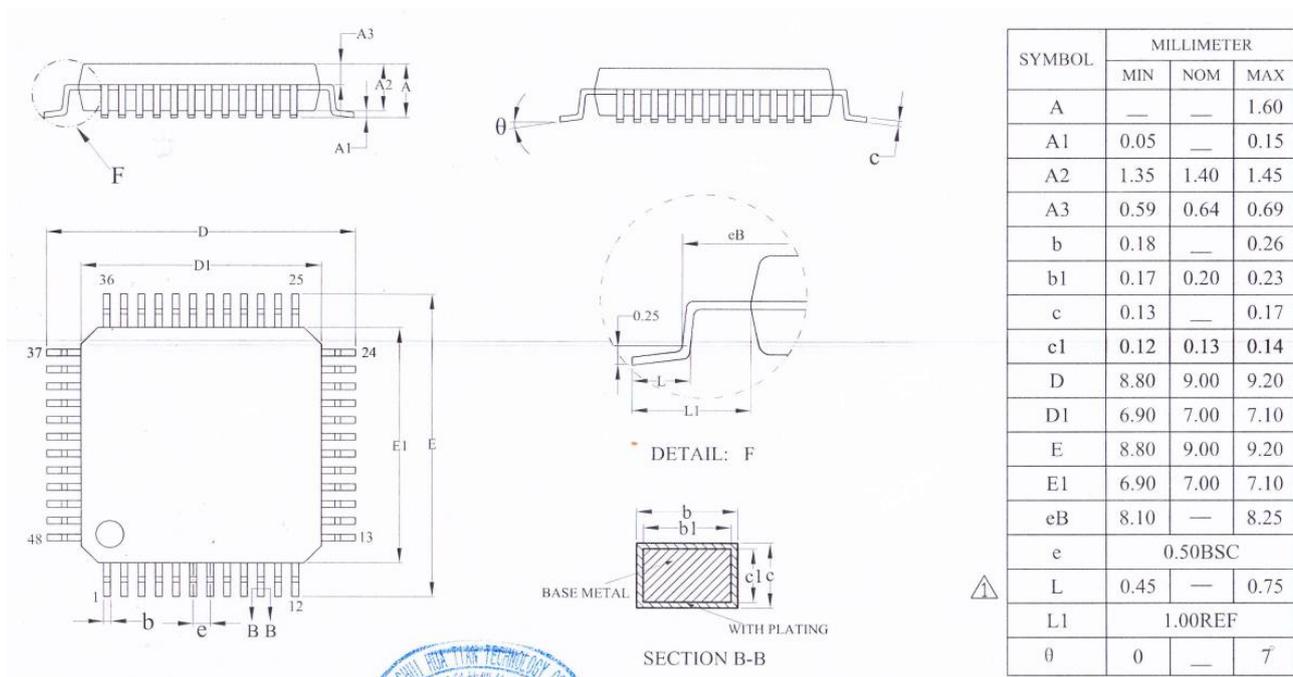


图 10-1 LQFP48 封装尺寸图