



目录

目录	1
第一章 概述	1
1.1 芯片描述	1
1.2 整体特性	1
1.3 应用场景	2
1.4 典型应用	2
第二章 参数及性能	3
2.1 芯片架构	3
2.2 芯片引脚配置	4
2.3 引脚功能	4
2.4 最大额定参数	5
2.5 电气特性	6
2.5.1 DC 特性	6
2.5.2 VREF 特性	6
2.5.3 ADC	6
2.5.4 内部被动均衡	6
2.5.5 四线 SPI 通信(-40°C~+125°C)	6
2.5.6 菊花链 SPI 通信(-40°C~+125°C)	7
第三章 工作状态	8
3.1 工作模式介绍	8
3.2 内核电路工作状态	8
3.2.1 SLEEP: 休眠模式	8
3.2.2 STANDBY: 待机模式	8
3.2.3 MEASURE: 测量模式	9
3.2.4 MONITOR: 监测模式	9
3.3 菊花链 SPI 通信电路状态描述	12
3.3.1 IDLE 模式	13
3.3.2 READY 模式	13
3.3.3 ACTIVE 模式	13
第四章 ADC	14
4.1 概述	14
4.2 ADC 操作	14
4.2.1 ADC 模式选择	15
4.3 功能描述	15
4.3.1 ADCV: 电池电压 ADC 转换指令	15
4.3.2 CVST (电池电压自测试)、GPST (GPIO 输入自测试)、STATST (内部参数自测试)	16
4.3.3 ADOL: 电池重叠单元测量指令	17
4.3.4 ADGP: GPIO ADC 转换指令	17
4.3.5 ADSTAT: 测量内部设备参数指令	18
4.3.6 ADCVGP: 测量电池电压和 GPIO 输入指令	20
4.3.7 STRBL: 开启均衡	20
4.3.8 MNT: 自动循环监测指令	20
4.3.9 CLRCELL、CLRGP、CLRSTAT: ADC 清除命令	20
4.3.10 PLADC: 轮询 ADC 转换状态	21
4.3.11 SOFTRST: 软件复位指令	21
4.3.12 ADCOW: 电池断线 ADC 转换指令	21



第五章 定时器.....	23
5.1 概述.....	23
5.1.1 看门狗 (WDT)	23
5.1.2 放电定时器(Discharge Timer).....	23
第六章 放电均衡.....	25
6.1 功能介绍.....	25
6.2 指令均衡.....	25
6.3 自主均衡.....	26
第七章 SPI 通信.....	29
7.1 通信概述.....	29
7.2 通信协议.....	29
7.2.1 数据链层.....	29
7.2.2 总线协议.....	29
7.2.3 检错码(PEC).....	31
7.2.4 轮询 ADC 状态.....	31
7.3 SPI 接口应用.....	32
7.3.1 SPI 接口描述.....	32
7.3.2 标准四线串行外围设备接口 SPI 通信.....	33
7.3.3 菊花链 SPI 串行通信外围设备接口.....	34
7.4 串行接口唤醒.....	40
7.4.1 唤醒菊花链通信—情况一.....	40
7.4.2 唤醒菊花链通信—情况二.....	41
第八章 操作指令.....	42
8.1 操作指令配置.....	42
8.2 操作指令配置描述.....	44
第九章 寄存器.....	46
9.1 寄存器及描述.....	46
第十章 应用信息.....	52
10.1 稳压电路.....	52
10.2 读取温度信息.....	52
10.3 一块 PCB 上芯片堆叠.....	53
10.4 通信隔离.....	54
10.5 电量均衡.....	54
10.6 断线检测.....	55
10.6.1 C 端电池电压采集通道断线检测方法 1.....	55
10.6.2 C 端电池电压采集通道断线检测方法 2.....	56
10.6.3 GPIO 采集通道断线检测.....	58
第十一章 封装信息.....	59
11.1 封装一 (64 引脚 eLQFP 封装) (BF8915A-1 uXXX)	59
11.2 封装二 (64 引脚 eLQFP 封装) (BF8915A-1 BXXX)	61
改版记录.....	63
免责声明.....	64



第一章 概述

1.1 芯片描述

本产品是一款用于针对高压电池模块的电压及温度数据的采集监视芯片，该芯片内置 16 位增量累加型($\Delta\Sigma$)ADC 和高精度低温漂电压基准源，室温典型条件下具有低于 $\pm 3\text{mV}$ 的电池测量误差。单个 BF8915A-1 可监测一个 16 节串联的电池模组，通过将多颗 BF8915A-1 芯片串接起来，可实现多达数百个电压通道和温度通道的同时检测。每个 BF8915A-1 芯片具有 2 个串行差分通信端口，多个芯片通过菊花链通信连接，可实现高速率、高抗干扰的局域通信，这种菊花链通信可以双向操作，以确保通信完整性。该芯片支持内部和外部电池电荷均衡控制，芯片内部 16 个均衡开关可最大支持 4.2V 下 200mA 的内部均衡电流放电。

1.2 整体特性

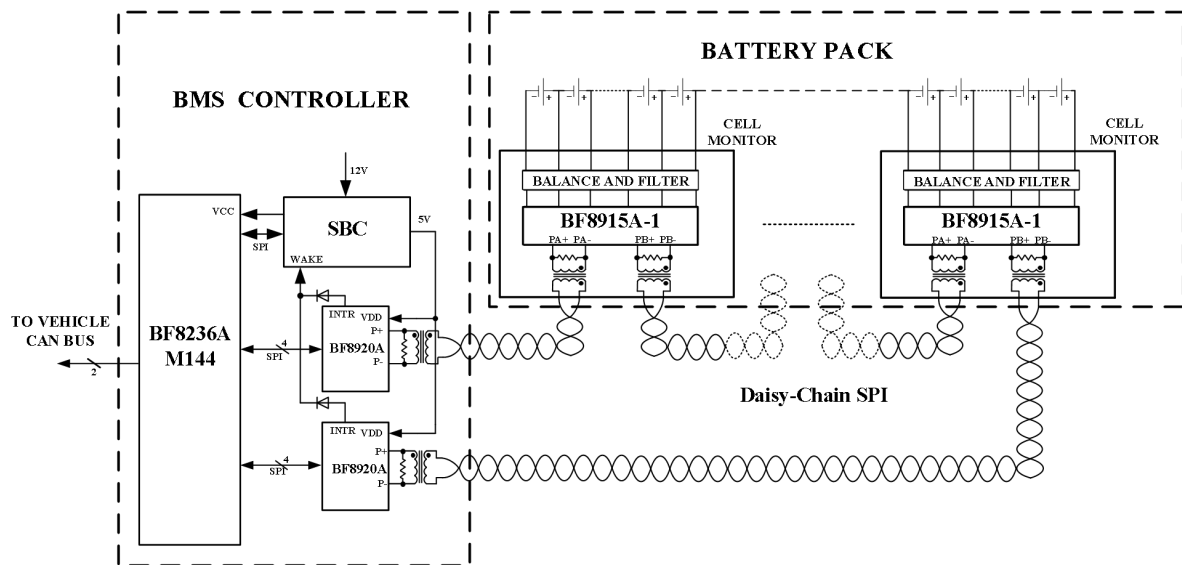
- 工作温度范围： $-40^{\circ}\text{C}\sim+125^{\circ}\text{C}$
- 存储温度范围： $-65^{\circ}\text{C}\sim+150^{\circ}\text{C}$
- 电压测量误差：
 - $\leq \pm 3\text{mV Accuracy (0.5}\sim 4.5\text{V, }+25^{\circ}\text{C)}$
 - $\leq \pm 5\text{mV Accuracy (0.5}\sim 4.5\text{V, }-20^{\circ}\text{C} \sim +65^{\circ}\text{C)}$
 - $\leq \pm 7\text{mV Accuracy (0.5}\sim 4.5\text{V, }-40^{\circ}\text{C} \sim +125^{\circ}\text{C)}$
- 单颗芯片最大可以测量 16 节串联锂离子电池电压
- 堆叠式架构可以支持数百节电池和温度同时检测
- 内置串行差分通信接口：
 - 1Mbps 隔离式串行通信
 - 支持大于 10 米双绞线通信
 - 低 EMI 灵敏度和辐射
 - 支持双向通信操作用于断线保护
- 可在 4ms 之内完成所有电池电压检测
- 片内通道同步时间小于 4ms
- 频率可编程的 16 位增量累加型($\Delta\Sigma$)ADC，专用于检测电池电压和温度
- 具有可编程定时器用于电池电荷均衡，均衡电压阈值可配置，配置后可自主均衡
- 16 个内部均衡开关，单双数异步开启，均衡开关控制占空比可配置，单通道 4.2V 下最大均衡电流 200mA
- 支持内部或外部均衡
- 自带功能安全诊断

- 8 个通用数字 GPIO 或模拟输入
 - 温度或其他的传感器输入
- 四种模式可配置：
 - SLEEP 模式
 - STANDBY 模式
 - MEASURE 模式
 - MONITOR 模式
- 对 Latch-up（闩锁效应）不敏感
- 64 引脚 eLQFP 封装

1.3 应用场景

- 电动汽车及混合动力汽车
- 后备电池系统
- 电网能量存储
- 高功率便携式设备

1.4 典型应用



BMS 监视系统简图

第二章 参数及性能

2.1 芯片架构

芯片架构如图 2.1 所示。

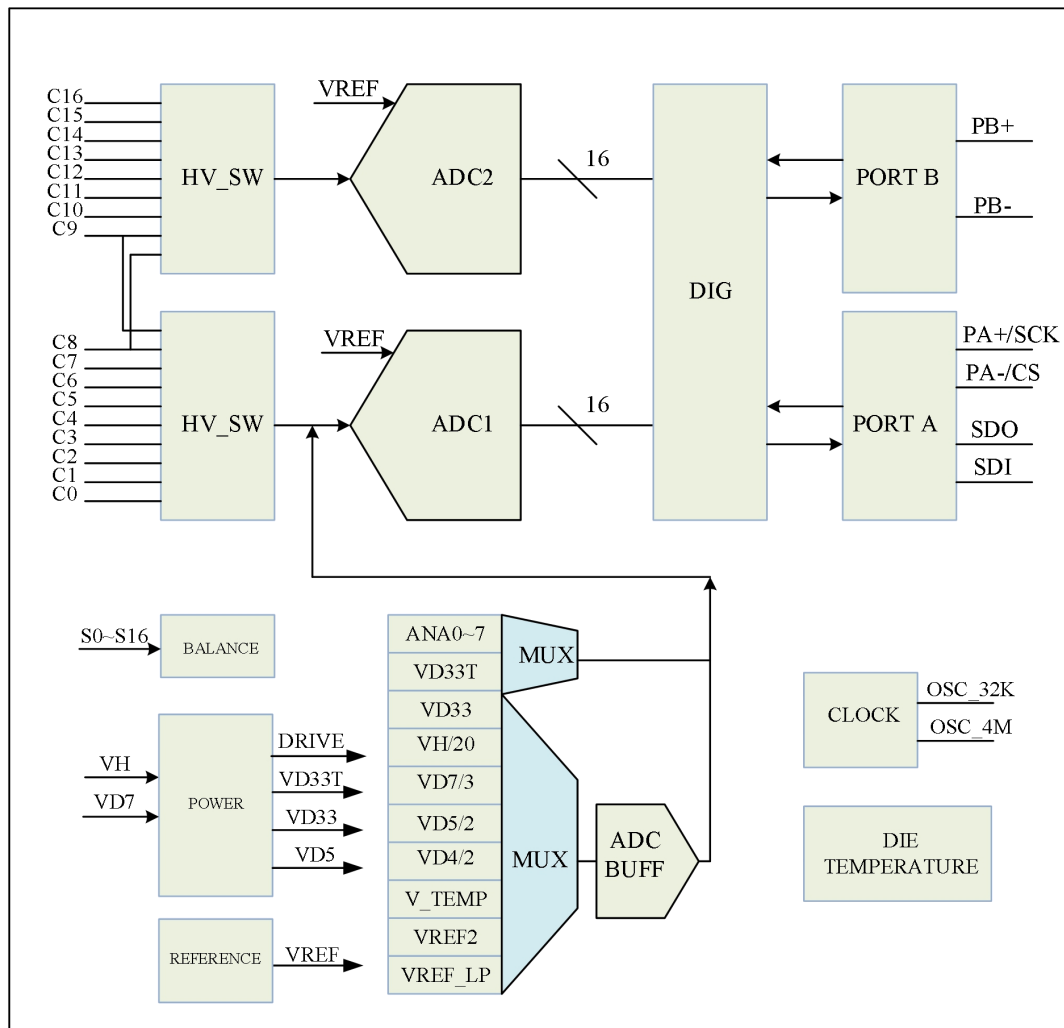


图 2.1 芯片架构图

2.2 芯片引脚配置

芯片引脚配置如图 2.2 所示。

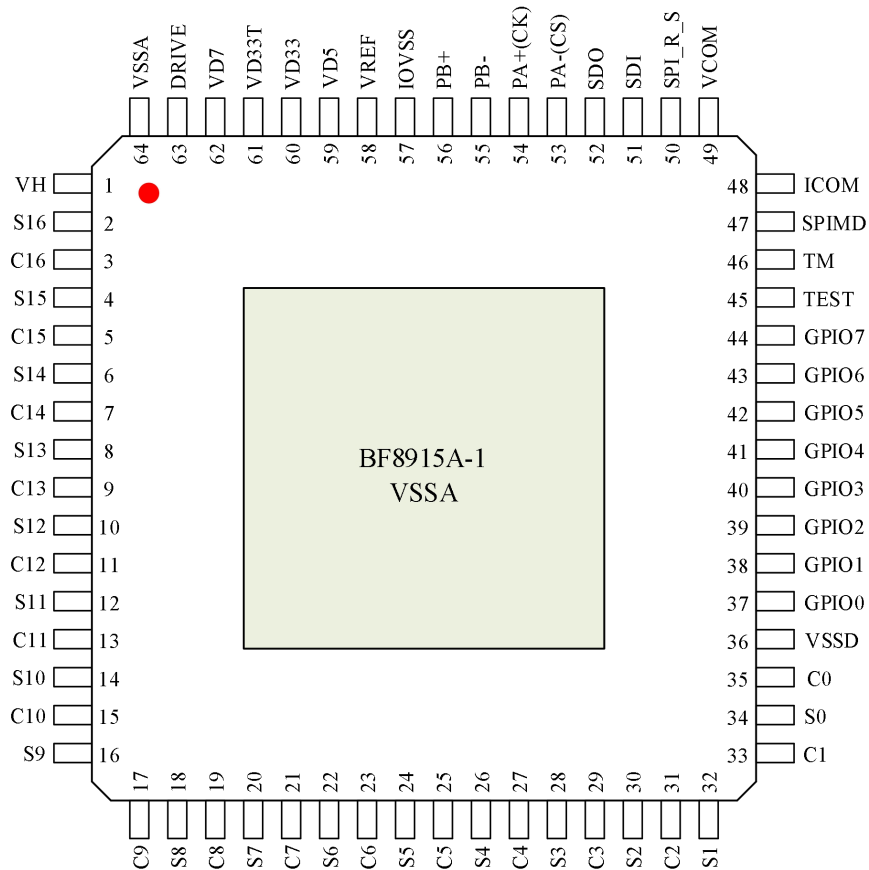


图 2.2 芯片引脚配置

2.3 引脚功能

名称	引脚号	描述
VH	1	BF8915A-1 芯片电源输入，通过 100Ω 电阻接到电池组最高端
S16~S0	2~35	电池均衡输入/输出端口
C16~C0		电池输入端口
VSSD	36	数字地
GPIO0~GPIO7	37~44	功能 1: 模拟输入 功能 2: GPIOx 数字输入/出（开漏输入/出），
TEST	45	厂家使用，应用浮空
TM	46	厂家使用，应用浮空
SPIMD	47	通信模式选择端口。当 SPIMD 连接至 VD5 时，芯片选择菊花链 SPI 通信；当 SPIMD 连接至 VSSA 时，芯片选择四线 SPI 通信
ICOM	48	菊花链 SPI 通信电路发射器驱动电流选择端口。



VCOM	49	菊花链 SPI 通信电路接收器阈值电压选择端口。
SPI_R_S	50	菊花链 SPI 通信电路发射器驱动电流和接收器阈值电压选择端口。当连接至 VD5 时，菊花链 SPI 通信驱动电流和接收器阈值电压的设置选择芯片内置电路；当连接至 VSSA 时（推荐用法），菊花链 SPI 通信驱动电流和接收器阈值电压的设置选择外接电路。
SDI	51	数据输入端口。四线 SPI 通信的数据输入端口 SDI。
SDO	52	数据输出端口。四线 SPI 通信的数据输出端口 SDO。需接一个 4.7K Ω 电阻上拉至 VD5。
PA-(CS)	53	第一功能：PORTA 菊花链 SPI 通信负极性差分信号输入/输出； 第二功能：四线 SPI 通信的片选信号引脚。
PA+(CK)	54	第一功能：PORTA 菊花链 SPI 通信正极性差分信号输入/输出； 第二功能：四线 SPI 通信时钟信号引脚。
PB-	55	PORTB 组菊花链 SPI 通信负极性差分信号输入/输出。
PB+	56	PORTB 组菊花链 SPI 通信正极性差分信号输入/输出。
IOVSS	57	I/O 地
VREF	58	VREF 基准，采用一个外部 1 μ F 电容进行旁路。
VD5	59	5V 电源，采用一个外部 1 μ F 电容进行旁路。
VD33	60	3.3V 电源，采用一个外部 1 μ F 电容进行旁路。
VD33_T	61	3.3V 温度检测电源，采用一个外部 1 μ F 电容器进行旁路。
VD7	62	7V 电源输入，采用一个外部 1 μ F 电容进行旁路。
DRIVE	63	将一个 NPN 的基极连接至该引脚，把 NPN 的集电极连接至电池正端，发射极连接至 VD7。
VSSA	64	模拟地
VSSA	65	模拟地

2.4 最大额定参数

参数		额定值	单位
总电源电压 VH 至 GND		100	V
输入电压 (相对于 GND)	C0、S0	-0.3~6.25	V
	C(n)、n(1~16)	-0.3~MIN (6.25*n, 100)	V
	S(n)、n(1~16)	-0.3~MIN (12*n, 100)	V
	PA+、PA-、PB+、PB-	-0.3~VD5+0.3	V
输入之间的电压	C(n)至 C(n-1)	-0.3~6.25	V
	S(n)至 S(n-1)	-0.3~12	V
工作温度范围		-40 ~ +125	$^{\circ}$ C
结温		150	$^{\circ}$ C
贮存温度		-65~150	$^{\circ}$ C
引脚温度(焊接时间 10S)		300	$^{\circ}$ C
ESD	HBM	1C	-
	CDM	C5	-
Latch-up	常温 25 $^{\circ}$ C	>200	mA
	高温 125 $^{\circ}$ C	>200	mA



2.5 电气特性

2.5.1 DC 特性

参数	条件及说明	温度/°C	最小值	典型值	最大值	单位
VH	VH 电压范围	-40~+125	16	60	100	V
VD5	VD5 供电电压	-40~+125	4.95	5.0	5.05	V
V _{DRIVE}	DRIVE 端口电压	-40~+125	6.5	8.2	10	V
VD33	数字供电电压	-40~+125	3.2	3.3	3.4	V
I _{sleep}	SLEEP 模式电流消耗	-40~+125	---	30	45	μA
I _{standby}	STANDBY 模式电流消耗	-40~+125	---	1.13	1.2	mA
I _{measure}	MEASURE 模式电流消耗	-40~+125	---	4.2	6.4	mA
I _{monitor}	MONITOR 模式电流消耗	-40~+125	---	1.1	1.2	mA
I _{communication}	通信时额外电流消耗	-40~+125	---	6.4	---	mA

2.5.2 VREF 特性

参数	条件及说明	温度/°C	最小值	典型值	最大值	单位
VREF	输出电压	-40~+125 No Load	2.495	2.5V	2.505	V
VREF	工作电流	-40~+125	---	158	---	μA
TC	温度漂移	-40~+125	---	10	---	PPM/°C
LT_Drift	时间漂移	25°C	---	1	---	PPM/khr
		65°C	---	20	---	PPM/khr

2.5.3 ADC

Σ-ΔADC 特性							
参数	条件及说明	温度/°C	最小值	典型值	最大值	单位	
V _{in}	测量范围	-40~+125	0	---	5	V	
V _{os}	失调电压	-40~+125	---	---	0.2	mV	
I _L	不测量时输入漏电流	-40~+125	---	---	0.5	μA	
I _m	测量时输入电流	+25	---	---	1.5	μA	
V _{LSB}	ADC 分辨率	-40~+125	---	76.3	---	μV	
f _s	ADC 时钟频率	-40~+125	3.8	4	4.2	MHz	
总测量误差	C(n)- C(n-1)	0.5~4.5V	+25	---	---	±3	mV
			-20 ~+65	---	---	±5	mV
			-40~+125	---	---	±7	mV
	总电压 V _H =80V		-40~+125	---	±10	---	mV

2.5.4 内部被动均衡

参数	条件及说明	温度/°C	最小值	典型值	最大值	单位
RD	放电开关内阻(4.2V)	-40~+125	---	3	---	Ω
I _{mos}	均衡电流 (4.2V)	---	---	---	200	mA
Temp	均衡工作温度	---	---	---	125	°C

2.5.5 四线 SPI 通信(-40°C~+125°C)



参数	条件及说明	条件	最小	典型	最大	单位
T _{CLK}	CK 时钟周期	---	1	---	---	μs
T ₁	SDI 建立时间	---	25	---	---	ns
T ₂	SDI 保持时间	---	25	---	---	ns
T ₃	CK 为低电平时间	t _{CLK} = T ₃ + T ₄ ≥ 1μs	300	---	---	ns
T ₄	CK 为高电平时间	t _{CLK} = T ₃ + T ₄ ≥ 1μs	300	---	---	ns
T ₅	CS 高电平时间	---	1	---	---	μs
T ₆	CK 上升沿到 CS 上升沿的时间间隔	---	1	---	---	μs
T ₇	CS 下降沿到 CK 上升沿的时间间隔	---	1	---	---	μs
T ₈	CK 下降沿之后 SDO 有效时间	---	---	---	60	μs
V _{IH}	SPI 输入电压高	---	0.7*VD5	---	---	V
V _{IL}	SPI 输入电压低	---	---	---	0.3*VD5	V
V _{OL}	SPI 输出电压低	---	---	---	0.1*VD5	V
I _{LEAK}	输入漏电流	---	---	---	0.5	μA

2.5.6 菊花链 SPI 通信(-40°C~+125°C)

参数	条件及说明	条件	最小	典型	最大	单位
V _{WAKE}	差分唤醒电压	t _{DWELL} =240ns	200	---	---	mV
t _{DWELL}	唤醒监测之前的 V _{WAKE} 的停留时间	V _{WAKE} =200mV	---	200	250	ns
t _{READY}	识别唤醒后的启动时间	---	---	---	20	μs
t _{IDLE}	空闲超时周期	---	5.4	6	6.6	ms
t _{1/2PW(CS)}	片选半脉冲宽度	Transmitter	120	150	180	ns
t _{1/2PW(D)}	数据半脉冲宽度	Transmitter	40	50	60	ns

第三章 工作状态

3.1 工作模式介绍

BF8915A-1 的操作系统分为两个独立的部分：内核电路（Core）和菊花链 SPI 通信电路。这两部分均具有独立的工作状态。

3.2 内核电路工作状态

Core 电路工作模式切换如图 3.1 所示。

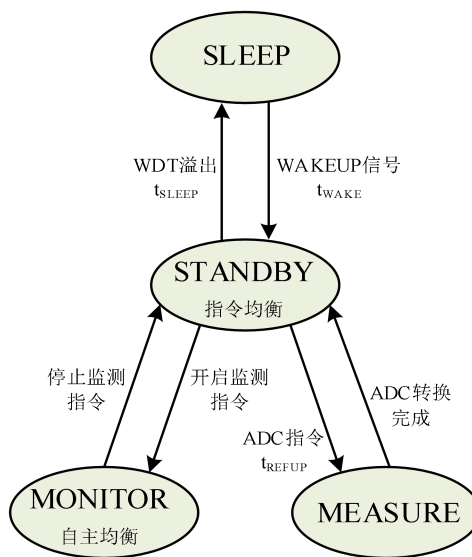


图 3.1 Core 电路工作模式切换

工作模式时间列表如表 3.1 所示。

表 3.1 工作模式时间列表

类型	描述	MIN	TYPE	MAX	UNIT
t_{WAKE}	唤醒时间	---	200	250	μs
t_{SLEEP}	看门狗定时器溢出时间	1.4	2	2.6	s
t_{REFUP}	VREF 上电完成时间	3.2	3.5	3.8	ms

3.2.1 SLEEP：休眠模式

基准电压（VREF）和 ADC 关闭，看门狗定时器（WDT）超时（此时是没有发送开启监测指令的情况），供电电流降低到最小，菊花链 SPI 通信端口处于 IDLE 状态。

如果接收到一个 WAKEUP 信号，芯片进入 STANDBY 状态。

3.2.2 STANDBY：待机模式

模拟时钟和电源打开，VREF 关闭，看门狗定时器工作。

当接收到有效 ADC 指令时，芯片等待 t_{REFUP} 时间用于启动基准电压，然后进入 MEASURE 模式。

当配置寄存器组 A 的 REFON 位置 1 时，芯片等待 t_{REFUP} 时间用于启动基准电压，然后如果接收到有

效的 ADC 指令进入 MEASURE 模式，当再次接收到有效的 ADC 指令时，可以直接进入 MEASURE 模式。

当接收到有效的开启 MONITOR（监测）模式指令时，等待看门狗定时器溢出芯片进入 MONITOR 模式。

如果 t_{SLEEP} 时间之后没有接收到有效指令(看门狗溢出)，芯片会返回到 SLEEP 模式。

注：切换模式都需要在 STANDBY 模式下发送相关指令进行切换，这个模式可以进行电池均衡，均衡需要在 STANDBY 模式下开启或者停止，都是由主机通过指令控制。

3.2.3 MEASURE：测量模式

当接收到有效的 ADC 转换指令时，如果 VREF 上电启动完成（芯片可以快速从 STANDBY 模式启动 ADC 转换），则可以直接进入测量模式；如果 VREF 未启动完成，则需要等待启动完成后进入 MEASURE 模式。进入该模式前，基准电压已经启动，同样该模式是执行 ADC 转换，所以 ADC 也会被启动。

当 ADC 转换完成后，芯片将会返回 STANDBY 模式。

- 如果 $REFON = 1$ ，ADC 转换完成后保持 VREF 上电，下次接收到有效的 ADC 指令时芯片直接进入 MEASURE 模式。
- 如果 $REFON = 0$ ，ADC 转换完成后 VREF 关闭，下次收到有效的 ADC 指令时还需要等待 t_{REFUP} 时间再进入 MEASURE 模式。

注：REFON 位在配置寄存器组 A 中配置。

3.2.4 MONITOR：监测模式

在 STANDBY 模式下，当接收到启动监测指令（MNT 指令）时，等待 WDT 溢出时从 STANDBY 模式切换到 MONITOR 模式（注：在等待 WDT 溢出期间仍处于 STANDBY 模式，主机是不能发送其他 ADC 转换指令，同样主机如果发送寄存器写读指令，会清零 WDT，导致延长进入监测模式时间，尽量避免）。

该模式下定时启动监测，所有时钟和电源未关闭，Timer 定时启动 ADC 进行测量，测量完成之后继续 Timer 定时启动 ADC 进行测量，一直循环监测，有异常情况进行上报。

进入监测模式之后，会先启动 VREF（在监测模式下，VREF 的启动时间是通过配置寄存器组 D 进行配置，启动时间= $(5+VD33T_ON_M*10)$ ms，范围是 5~155ms）进行一次测量，测量完成后启动监测定时器（在监测模式下，定时监测时间可以通过配置寄存器组 D 进行配置，定时时间= $(TIME_SEL_M+1)*1s$ ，时间范围是 2~64s，最小配置值是 1（2s）），定时结束后，启动 VREF 定时器，等待 VREF 上电完成后开始进行下一次测量，测量完成之后，接着启动监测定时器，一直循环进行监测。

监测模式流程框图如图 3.2 所示。

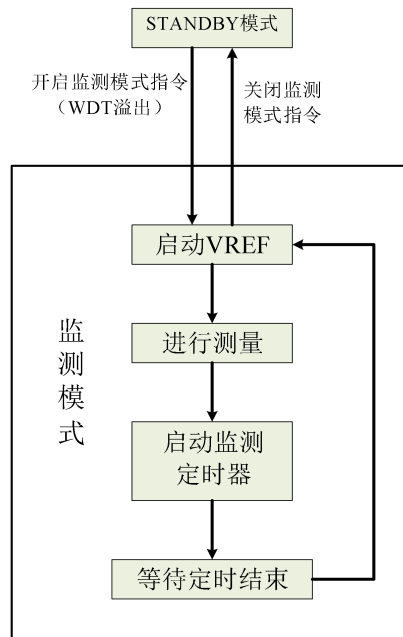


图 3.2 监测模式流程框图

监测的内容包括：

- 电池电压(过压和欠压)测量：测量所有的电池电压，并保存数据。通过寄存器组 CFGD 的 CSEL_M[15:0]选择哪节电池进行比较。如果大于过压阈值 VOV_M，表示过压，则相应的标志位置 1，如果小于过压阈值 VOV_M，表示不过压，则相应的标志位置 0；如果小于欠压阈值 VUV_M，表示欠压，则相应的标志位置 1，如果大于欠压阈值 VUV_M，表示不欠压，则相应的标志位置 0。

注：不进行监测的电池，如果监测模式之前发送 CLRSTAT 会把标志位置 1，但是异常报警输出只针对 CSEL_M[15:0]配置的电池。

- GPIO 模拟输入信号监测：测量所有 GPIO 电压，并保存数据。通过寄存器组 CFGD 的 GSEL_M[7:0]选择哪个 GPIO 进行比较。可监测外部 NTC 电压输入，用于电池包温度信号监测，如果小于过温阈值 EXT OV_M，表示过温，则相应的标志位置 1；如果大于过温阈值 EXT OV_M，表示不过温，则相应的标志位置 0。
- 芯片温度监测：测量内部参数中的 VTEMP，并保存数据，如果大于过温阈值 ITOV_M，表示过温则相应的标志位置 1；如果小于过温阈值 ITOV_M，表示不过温则相应的标志位置 0。
- 芯片过温保护：当芯片温度高于 125°C 时，表示硬件过温，会进行异常上报，HTOV1 标志位置 1。（如果开启自主均衡，当发生芯片温度高于 125°C 时，关闭均衡）。

注：芯片过温保护在监测模式下，一直进行扫描，独立的监测，不存在与电池电压监测、GPIO 模拟输入信号监测、芯片温度监测有先后顺序。

监测模式下，测量顺序为电池电压监测、GPIO 模拟输入信号监测，芯片温度监测，所有测量完成之后，等待监测定时完成进行下一次测量。在每次循环测量完成之后，就会判断比较电池电压、GPIO 模拟输入信号、芯片温度，测量结果与相应的阈值比较，出现异常情况则会置位相应的标志位（相应标志位置位则表示异常）。

监测模式下测量流程如图 3.3 所示。

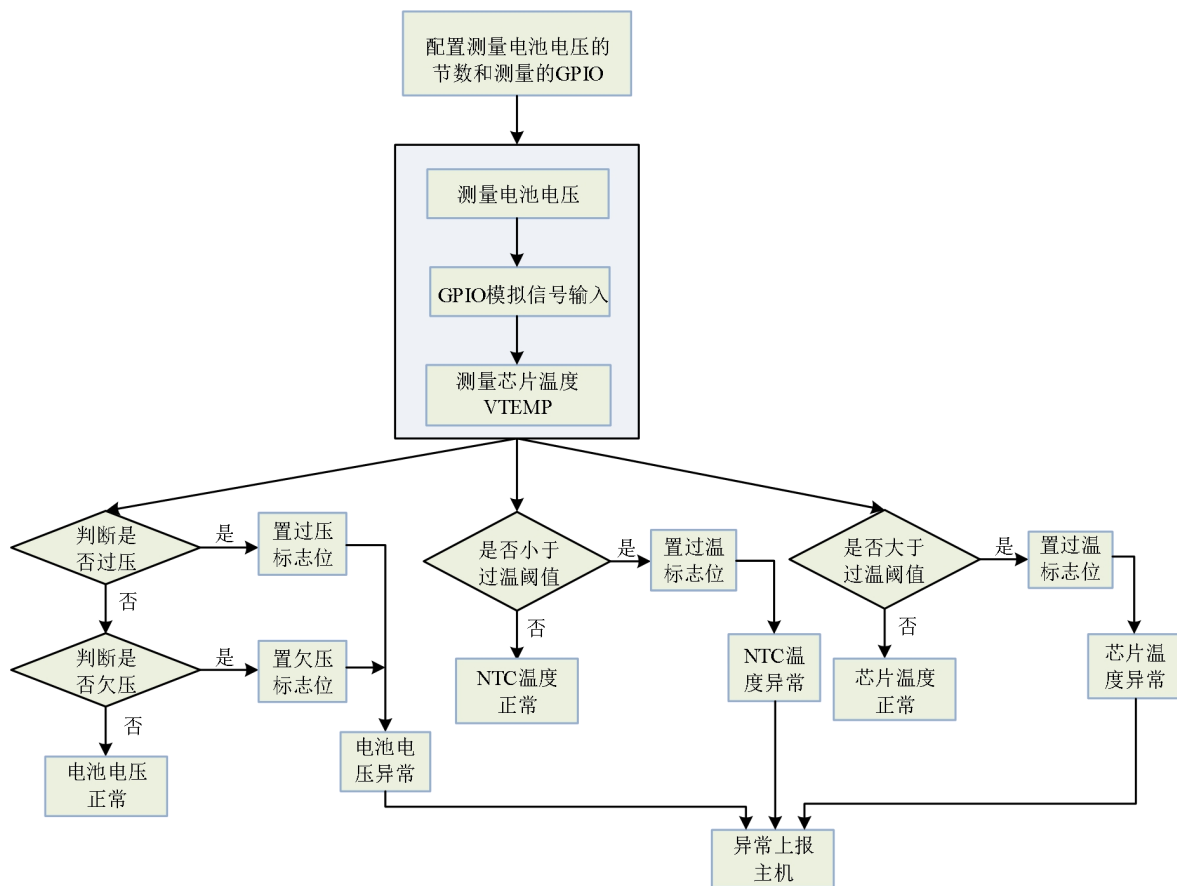


图 3.3 监测模式下测量流程

当出现异常时，则发送异常报警信号（异常报警信号为一个 Long+1 脉冲）上报主机，异常上报时序如图 3.4 所示。菊花链 SPI 唤醒时间为 10 μ s（菊花链 SPI 唤醒时间可有配置寄存器组 D 配置），监测模式下时钟和电源均为打开状态，只需要唤醒菊花链 SPI 通信。对于异常报警脉冲信号会每隔一段时间向主机上报错误，间隔时长可以通过配置寄存器组 D 配置。

在发送异常报警信号时，单方向发送报警信号，如果主机一个 Timer 周期没有响应，就会切换方向继续发送报警信号。当主机接收到异常上报，则会发送指令，只要是有效指令就会关闭发送异常上报。

注:

1. 芯片在报警过程中，不会切换芯片的主从方向；
2. 单方向发送报警信号，主机没有处理后，切换方向，继续发送报警信号；
3. 唤醒信号双向传递。
4. 上报异常间隔时间由配置寄存器组 D 配置，范围 200ms~800ms，步进 200ms，在没有配置的情况下默认值 800ms。

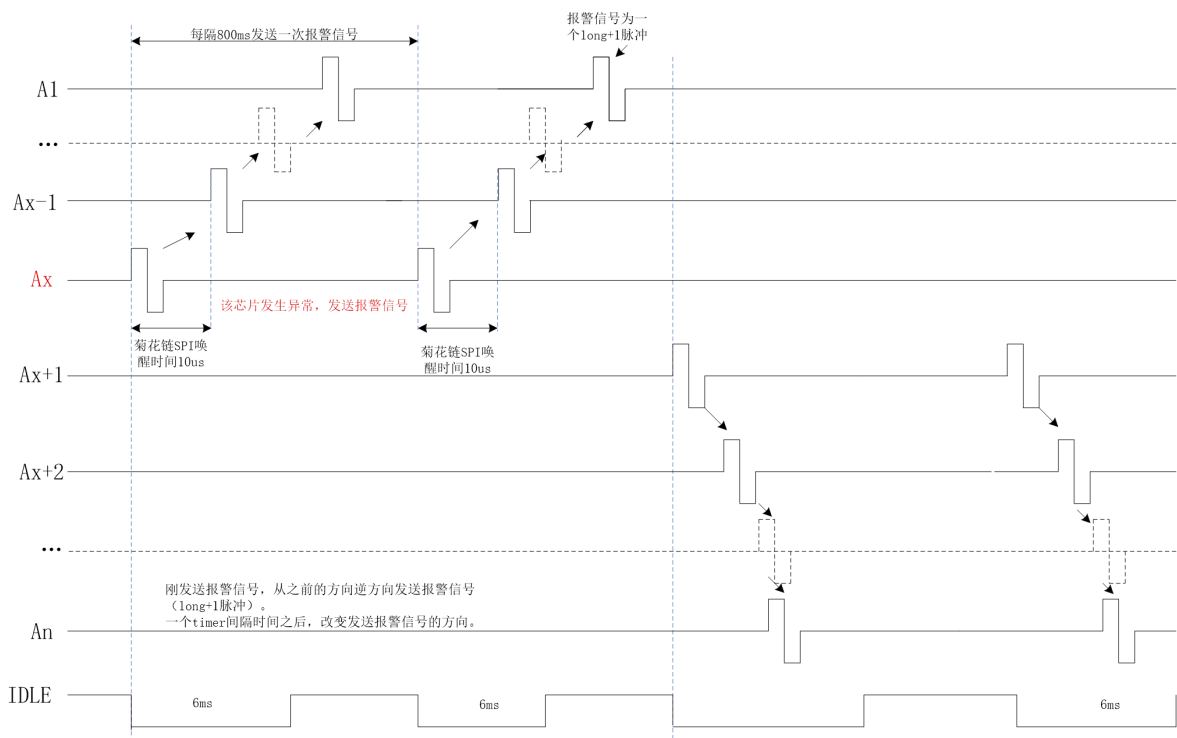


图 3.4 异常上报时序

如果退出监测模式，主机要发送停止监测指令，退出监测模式，进入 STANDBY 模式。

在监测模式下的 Timer 定时期间还可以进行自主均衡，通过监测指令的 BL_EN 开启（详细描述参考第六章放电均衡）。

3.3 菊花链 SPI 通信电路状态描述

菊花链 SPI 通信电路工作模式切换图如图 3.5 所示。

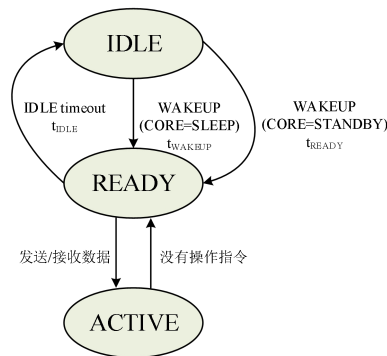


图 3.5 菊花链 SPI 通信电路工作模式切换图

菊花链 SPI 通信电路工作切换时间列表如表 3.2 所示。

表 3.2 菊花链 SPI 通信电路工作切换时间列表

参数	参数说明	最小	典型	最大	单位
t_{IDLE}	菊花链 SPI 通信超时时间	5.4	6	6.6	ms
t_{WAKEUP}	唤醒时间 (Core=SLEEP)	---	200	250	μs
t_{READY}	唤醒时间 (Core=STANDBY)	---	---	20	μs

3.3.1 IDLE 模式

菊花链 SPI 通信端口关闭。当菊花链 SPI 通信 PORT A 或 PORT B 接收到 WAKEUP 信号时，菊花链 SPI 通信进入 READY 状态。

当菊花链 SPI 通信接收到 WAKEUP 信号时，如果 CORE 处于 STANDBY 状态，则转换会很快发生（在 t_{READY} 内）；如果内核处于 SLEEP 状态，则它将在 t_{WAKEUP} 时间后跳转到 READY 状态。

3.3.2 READY 模式

菊花链 SPI 通信端口已准备进行通信，这种状态下的串行差分通信接口电流 I_{DRIVE} 取决于 ICOM 和 VCOM 引脚的配置情况状态。详情见 SPI 通信章节菊花链 SPI 通信小节。

如果 PORT A 或 PORT B 在大于 t_{IDLE} 的时间内没有任何活动，芯片将进入 IDLE 状态。当串行接口正在发送或接收数据时，芯片进入 ACTIVE 状态。

3.3.3 ACTIVE 模式

BF8915A-1 芯片使用 1 个或者 2 个菊花链 SPI 通信端口发送/接收数据。串行接口在此状态下消耗最大功率。功耗随着菊花链 SPI 通信脉冲密度的增加而增加，电源电流随时钟频率增加而增大。

第四章 ADC

4.1 概述

- 采用 2 个 ADC 进行测量，ADC 模式可配；
- ADC 初始化时间可配置；
- 电池电压测量，测量电池通道可配，包括重叠、自测量；
- GPIO 电压测量，测量 GPIO 通道可以配置，还包含自测试测量；
- 内部参数电压测量，测量芯片内部电源电压和温度，测量通道可以配置，还包含自测试测量；
- 监测模式下，电池电压、电池温度和芯片温度的测量。

4.2 ADC 操作

BF8915A-1 芯片内部有两个 ADC。在测量 16 节电池时，两个 ADC 同时工作。ADC1 还用于测量外部 GPIO 模拟电压和芯片内部参数。根据所执行的操作，以下讨论使用术语 ADC 来指代一个或所有 ADC。例如，当需要在时序图中区分两个电路时，以下讨论将参考 ADC1 和 ADC2。ADC 测量范围为 0~5V，数据格式为 16 位无符号整数，其中 $V_{LSB} = 5V/2^{16}$ ，近似为 76.3 μ V。

对于指令操作及测量时间计算说明：

- 菊花链 SPI 通信时钟周期： $T_{SPI} = 1/f_{SPI} \mu s$ ， $f_{SPI} = 1MHz$ ；
- 系统时钟周期： $T_{SYSTEM} = 1/f_{SYSTEM} = 0.25\mu s$ ， $f_{SYSTEM} = 4MHz$ ；
- 发送一个指令的时间： $T_{SendOrder} = 32 * T_{SPI}$ ；
- 开关初始化时间： $T_{INIT} = 40\mu s$ ；
- ADC 时钟频率： f_{ADC} 可以选择 2MHz，由寄存器 CLKSEL 配置；
- ADC 时钟周期： $T_{ADC} = 1/f_{ADC} \mu s$ ；
- 一个通道的 ADC 过采样时钟个数 m ：由寄存器 OSR_SEL 和 OSR 配置；
- ADC 测量第一个通道初始化时间： $T_{ADCINIT1} = (ADC_INIT_T1+1) * 100 \mu s$ ，其中 ADC_INIT_T1 由配置寄存器组 D 配置；
- ADC 测量第 2~n 个通道初始化时间： $T_{ADCINIT2} = (ADC_INIT_T2+1) * 20 \mu s$ ，其中 ADC_INIT_T2 由配置寄存器组 D 配置；
- 一个通道的 ADC 扫描时间： $T_{SCAN1} = m * T_{ADC} * 3 + 5 * T_{ADC} + 21 * T_{SYSTEM}$ ；
- 测量第一个通道的时间： $T_{MEASURE1} = (7+32+22) * T_{SYSTEM} + T_{ADCINIT1} + T_{SCAN1}$ ；
- 测量第 n 个通道的时间： $T_{MEASURESN} = (7+32+22) * T_{SYSTEM} + T_{ADCINIT2} + T_{SCAN1}$ 。

注：ADC 测量第一个通道初始化时间 = $(ADC_INIT_T1+1) * 100\mu s$ ，时间范围：100~1600 μs ，ADC_INIT_T1 可配置为 0~15；ADC 测量第 2~n 个通道初始化时间 = $(ADC_INIT_T2+1) * 20\mu s$ ，时间范围：20~320 μs ，ADC_INIT_T2 可配置为 0~15。详细介绍见配置寄存器组 D。



4.2.1 ADC 模式选择

在执行 ADC 操作指令之前，需要对 ADC 的工作频率和过采样率进行配置，即对 CLKSEL[1:0]位和 OSR[1:0]位的配置控制过采样率进行选择，表 4.1 展示了不同的过采样率组合。

表 4.1 不同的采样频率和过采样率组合

			CLKSEL
			1
OSR[1:0]	OSR_SEL=0	0/ b'00	2MHz/64
		1/ b'01	2MHz/128
		2/ b'10	2MHz/256
		3/ b'11	2MHz/512

4.3 功能描述

4.3.1 ADCV：电池电压 ADC 转换指令

ADCV 命令开启电池输入 C0 到 C16 的测量，此命令可以选择测量通道数、过采样率。接收到 ADCV 检测 16 个电池指令后，ADC1 检测低 8 节，ADC2 检测高 8 节。在所有电池测量完成之后，每个通道都会被校准以消除任何偏差错误。

ADC 采样时钟频率如表 4.2 所示。（详细介绍参考操作指令配置章节）

表 4.2 ADC 采样时钟频率

名称	描述	数值描述	
CLKSEL	ADC 频率选择	0	4MHz（断线检测使用）
		1	2MHz
		3	0.5MHz（断线检测使用）

ADC 过采样率列表如表 4.3 所示。

表 4.3 ADC 过采样率列表

名称	描述		OSR_SEL=0	OSR_SEL=1
OSR_SEL[1:0]	ADC 过采样率选择	0	64	---
		1	128	---
		2	256（推荐）	---
		3	512	4096（断线检测使用）

电池通道选择列表如表 4.4 所示。

表 4.4 电池通道选择列表

名称	描述	数值描述	
CSEL[3:0]	ADC 转换的电池选择	0	所有电池 CELL1~CELL16
		1	CELL1、CELL9
		2	CELL2、CELL10
		3	CELL3、CELL11
		4	CELL4、CELL12
		5	CELL5、CELL13
		6	CELL6、CELL14
		7	CELL7、CELL15
		8	CELL8、CELL16

ADCV 命令测量 16 节电池时序图如图 4.1 所示。图 4.1 说明了测量所有 16 节电池的 ADCV 命令的时序。接收到测量所有 16 节电池的 ADCV 命令后，ADC1 依次测量低 8 节电池，ADC2 测量高 8 节电池。

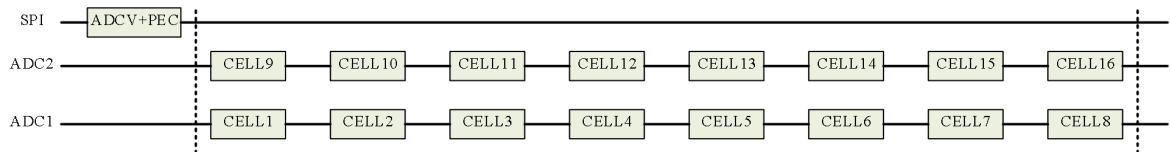


图 4.1 ADCV 命令测量 16 节电池时序图

测量 2 节电池的 ADCV 命令的时序图如图 4.2 所示。接收到 ADCV 测量命令后，ADC1 测量低第 1 节电池，ADC2 测量高第 9 节电池。

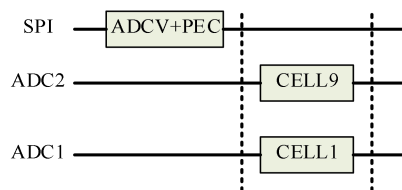


图 4.2 测量 2 节电池的 ADCV 命令的时序图

注：发送 ADC 转换指令之后，如果 VREF 处于启动期间是不允许发送其他的 ADC 转换指令的，只有等到测量完成切换到 STANDBY 模式下才可以进行下一次测量。

4.3.2 CVST（电池电压自测试）、GPST（GPIO 输入自测试）、STATST（内部参数自测试）

自测试命令验证数字滤波器和存储器。一位脉冲密度调制器输出由 1Bit 测试信号代替，测试信号通过数字滤波器转换为 16 位 ADC 数据，测试信号和调制器输出的 1 位信号进行相同的数字转换，因此任何自检测命令的转换时间和相应常规的 ADC 转换命令完全相同。16 位的 ADC 数据存储在和相应常规 ADC 转

换命令相同的寄存器组中。测试信号被设计成在寄存器中防止 0/1 交替的模型。

表 4.5 表示了自测试命令的列表。如果数字滤波器和内存工作正常，那么保持表中所示的值。

表 4.5 自测试命令的列表

指令	自测试选择	输出样本	结果寄存器组
CVST	ST=0	0x6666	c1v to c16v (CVA, CVB, CVC, CVD, CVE, CVF)
	ST=1	0x9999	
GPST	ST=0	0x6666	G0v to g7v, vd33t (GPA, GPB, GPC)
	ST=1	0x9999	
STATST	ST=0	0x6666	VD33、VH、VD7、VD5、VD4、VITMP、VREF_LP、 VREF2(STATA, STATB, STATC)
	ST=1	0x9999	

第 1 步是发送带选择的 CVST 指令：ST = 0，接着发指令 RDCVA~RDCVF 去读取电池电压寄存器，这些寄存器的值应该匹配这个模式 0x6666。

第 2 步是发送带选择的 CVST 指令：ST = 1，再一次发指令 RDCVA~RDCVF 去读取电池电压寄存器，这些寄存器的值应该匹配这个模式 0x9999。如果这些步骤之一有一个模式不匹配，则 BF8915A-1 的数字滤波器，逻辑或者存储器有一个错误。

相同的步骤适用于 GPIO(GPST) 和状态组(STATST)的测量。

滤波器自测试模式的时序和正常测量电池，GPIO 和内部参数的时序一样，只是 ADC 输入数据不一样。

注：发送指令前，需要先把配置寄存器组 D 中的 ADC1、ADC2 校准使能关闭。

4.3.3 ADOL：电池重叠单元测量指令

ADOL 指令使用 ADC1 和 ADC2 同时测量 CELL9。主机可以比较两个结果，可能会出现一个错误。从 ADC2 中检测的 CELL9 的结果放置在电池包电压寄存器组 C 的正常情况下 CELL8 存储的位置。ADC1 的检测结果放置在电池电压寄存器组 C 的正常情况下 CELL9 存储的位置。ADOL 指令测试时序如图 4.3 所示。

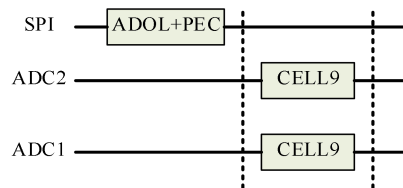


图 4.3 ADOL 指令测试时序

4.3.4 ADGP：GPIO ADC 转换指令

ADGP 指令开启测量 GPIO 输入。该命令可以选择测量的 GPIO 输入（GPIO0~7）、过采样率。ADGP 还测量 VD33T。ADGP 命令中，可以选择单独测量 GPIO 输入和 VD33T，或者一个命令测量所有的 GPIO 输入和 VD33T。所有辅助设备的测量都和 VD33T 相关。该命令可以通过连接温度传感器到 GPIO 来读取外部温度。这些传感器可以由 VD33T 供电，确保精确地比率测量。

所有 GPIO 输入（GPIO0~7）测量都在 ADC1 上进行的。VD33T 在 GPIO3 和 GPIO4 之间测量得。测量 GPIO 的模拟输入时，需要配置寄存器组 CFGA 的 IO_MODE[7:0]=0x00，选择模拟输入，同时 GPIO 输出为全 1，GPIO[7:0]=0xff。

GPIO 通道选择如表 4.6 所示。

表 4.6 GPIO 通道选择

名称	描述	数值描述	
		0	所有 GPIO0~GPIO7,VD33T
GSEL[3:0]	ADC 转换的 GPIO 选择	1	GPIO0
		2	GPIO1
		3	GPIO2
		4	GPIO3
		5	VD33T
		6	GPIO4
		7	GPIO5
		8	GPIO6
		9	GPIO7

ADGP 指令测量 8 个 GPIO 时序如图 4.4 所示。

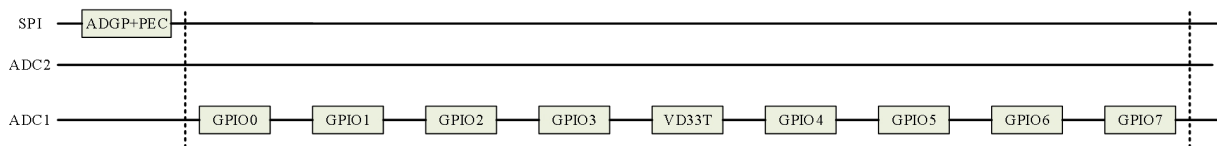


图 4.4 ADGP 指令测量 8 个 GPIO 时序

ADGP 指令测量 1 个 GPIO 时序如图 4.5 所示。

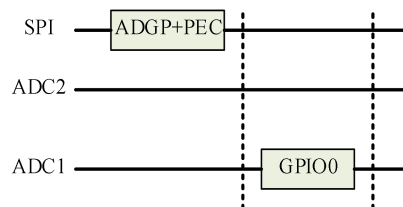


图 4.5 ADGP 指令测量 1 个 GPIO 时序

4.3.5 ADSTAT: 测量内部设备参数指令

ADSTAT 命令是一个诊断命令，用于测量以下内部设备参数：VD33、电池包的总电压 VH、VD7、VD5、VD4、芯片内部温度（VTEMP）、VREF_LP、VREF2。ADSTAT 指令可以选择测量输入、过采样率。

内部参数通道选择列表如表 4.7 所示。

表 4.7 内部参数通道选择列表

名称	描述	数值描述
STSEL[3:0]	ADC 转换的内部参数选择	0 所有内部参数 VD33、VH/20、VD7/3、VD5/2、VD4/2、VTEMP、VREF2、VREF_LP
		1 VD33
		2 VH/20
		3 VD7/3
		4 VD5/2
		5 VD4/2
		6 VTEMP
		7 VREF2
		8 VREF_LP

ADSTAT 指令测量所有内部参数时序如图 4.6 所示。

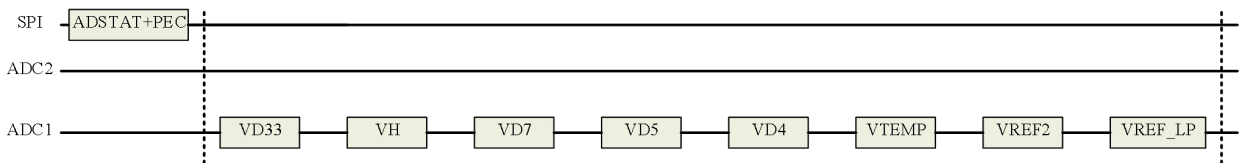


图 4.6 ADSTAT 指令测量所有内部参数时序

ADSTAT 指令测量一个内部参数时序如图 4.7 所示。

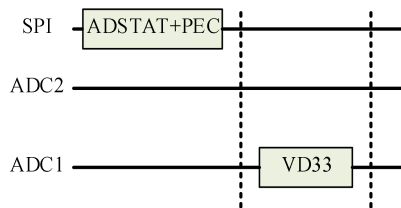


图 4.7 ADSTAT 指令测量一个内部参数时序

电池包的总电压：所有电池的测量之和是 C16 和 C0 之间的电压 20 倍。电池包总测量 16 位 ADC 数据存储在状态寄存器组 A 中。C0 和 VSSA 引脚之间的潜在差异会导致 VH 测量的误差等于这个差值。

电池包总电压：Voltage for VH = (20*VH*V_{LSB}) μV

为了确认合适的多路器操作，VH 的值应该和单个电池测量的和进行比较，这两个数据量应该满足 datasheet 中容差范围。

芯片内部温度：ADSTAT 命令可以测量芯片内部温度。16 位的芯片内部温度 ADC 数据 (VTEMP) 存储在状态寄存器组 B 中。

芯片内部温度对应电压：Voltage for VTEMP= ((VTEMP*V_{LSB}) μV

测量内部电源：ADSTAT 命令也可以测量 VD7、VD5、VD4、VD33、VREF_LP、VREF2。16 位的数据存储在状态寄存器组 A/B/C 中，以及对应电压关系。

4.3.6 ADCVGP：测量电池电压和 GPIO 输入指令

ADCVGP 命令将测量 16 个电池包和 2 个 GPIO 测量（GPIO0 和 GPIO1）结合在一起。当电流传感器连接到 GPIO0 和 GPIO1 输入时，该命令简化了电池电压和电流测量的同步。

ADCVGP 指令测量 16 节电池和 2 个 GPIO 时序图如图 4.8 所示。

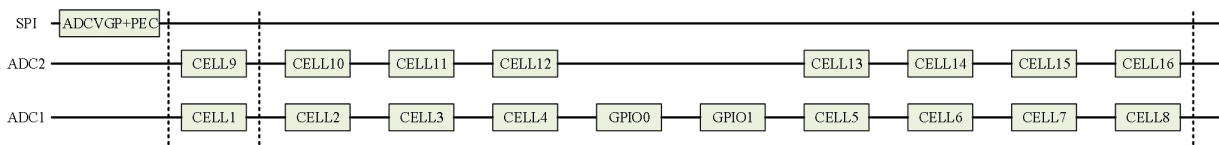


图 4.8 ADCVGP 指令测量 16 节电池和 2 个 GPIO 时序图

4.3.7 STRBL：开启均衡

发送 BL_EN = 1 的指令才能开启均衡放电，通过配置 OESEL 来选择是奇数节还是偶数节电池放电，放电一段时间后，主机可以通过发送 BL_EN = 0 的均衡指令来关闭均衡开关和均衡时序，如果主机只是配置寄存器 DCC = 0，只是关闭了均衡时序，不会关闭均衡开关总控制信号。所以指令均衡模式下，退出均衡模式，需要发送 BL_EN = 0 的均衡指令。

4.3.8 MNT：自动循环监测指令

当主机发送启动监测模式指令，等待 WDT 溢出后系统进入监测模式。

注：在 WDT 定时的 2s 中内不允许发送其他指令。

配置 MNMOD[1:0]=0x01 进入监测模式。进入监测模式之后，先启动 VREF 进行一次测量，包括电池电压、GPIO（外部温度）测量、内部温度（VTEMP）测量，然后启动监测定时器，定时结束后启动 VREF，上电完成后开始进行下一次测量，当所有测量完成之后，接着启动监测定时器，一直循环进行监测。

如果要退出监测模式 0，主机要发送停止监测指令，退出监测模式，进入 STANDBY 模式。

注：

1. 在监测模式下，VREF 的启动时间是可以配置寄存器组 D 配置的，启动时间=(5+VD33T_ON_M*10)ms，范围是 5~155ms。

2. 在监测模式下，定时监测时间可以通过配置寄存器组 D 进行配置，定时时间=(TIME_SEL_M+1)*1s，范围是 2~64s，最小配置值是 1 (2s)。

4.3.9 CLRCELL、CLRGP、CLRSTAT：ADC 清除命令

该芯片有 3 个 ADC 命令：CLRCELL、CLRGP、CLRSTAT。这些命令将清除所有 ADC 转换结果的寄存器。

CLRCELL 命令：清除电池包电压寄存器组 A、B、C、D、E 和 F。这些寄存器所有字节都通过该命令

设置为 0xFF。

CLRGP 命令：清除辅助寄存器组寄存器组 A、B、C。这些寄存器所有字节都通过该命令设置为 0xFF。

CLRSTAT 命令：清除状态寄存器组 A、B、C、D。状态寄存器组 A、B、C 所有字节和 D 中的 OV、UV 位由 CLRSTAT 设置为 1 的。

4.3.10 PLADC：轮询 ADC 转换状态

在发送 ADC 转换指令后，执行其他任务，然后发送轮询 ADC 状态指令（PLADC），保持 CS 为低电平，并发送时钟信号 CK，SDO 在芯片转换过程中输出为 0（当通信模式为菊花链 SPI 通信时，则发出低的菊花链 SPI 脉冲），当芯片完成转换后，SDO 则拉高（表示 ADC 转换完成）。但是，当设备没有完成转换，如果 CS 拉高，SDO 则也会拉高，即拉高 CS，退出轮询模式。

在 N 个堆叠设备的菊花链配置中，使用这种轮询模式。如果底层的设备以 SPI 模式通信，底层设备的 SDO 指示整个堆栈的转换状态。也就是说，在堆栈中的所有设备都完成转换前，SDO 将保持为低。CS 保持低电平的同时，在 CK 上发送 PLADC 命令和时钟脉冲。在前 N 个时钟脉冲期间，菊花链的底层设备将输出 0 或者低的菊花链 SPI 脉冲。SDO 状态仅在 CK 的 N 个脉冲结束时才有效。并在随后的每个时钟周期，菊花链上的设备在每个时钟脉冲下降沿更新状态。

状态更新如图 4.9 所示。

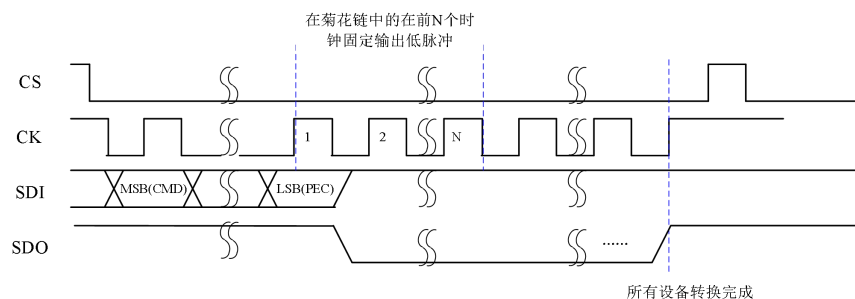


图 4.9 状态更新

4.3.11 SOFTRST：软件复位指令

发送软件复位指令会产生软件复位，整个系统复位，包括配置寄存器组 A/B/C/D、电池电压寄存器组 A/B/C/D/E/F、GPIO 寄存器组 A/B/C、状态寄存器组 A/B/C/D。

软件复位时间 200μs。

4.3.12 ADCOW：电池断线 ADC 转换指令

在电池多路器中模拟开关用断线检测，采用 ADCOW 指令检测任意 MUX 开关或者 BF8915A-1 内部 ADC 输入和外部电池组之间断线的高阻抗。ADCOW 指令和 ADCV 指令一样对 C Pin 的输入执行 ADC 转换。像 ADCV 指令一样，ADCOW 指令可以选择测量的通道数、ADC 频率和过采样率。

注：

1：测量指令 ADCV、ADCOW、CVST、ADOL、ADGP、GPST、ADSTAT、STATST、ADCVGP、



STRBL 需要在 STANDBY 模式下发送指令有效，其他模式下发送指令无效，如果发送一条测量指令之后，需要等到测量完成之后切换到 STANDBY 模式再发送下一条测量指令。电池、GPIO 和芯片内部参数的测量指令中的通道选择如果超出规定范围，指令无效。

2: 监测指令 MNT 需要 STANDBY 模式下发送开启指令有效，MONITOR 模式下发送停止指令有效。因为监测指令发送之后，需要等到 WDT 溢出之后才进入监测模式，这个 WDT 定时期间不能发送其他的测量指令。监测指令的 MNMOD[1:0] = 0x00 则不会进入监测模式。

第五章 定时器

5.1 概述

5.1.1 看门狗 (WDT)

看门狗定时器时钟固定定时 2s, 由 16 位串行计数器实现。如果系统没有接收到进入监测模式指令时, 当看门狗定时器溢出 (WDT 计数到最大值时, 计数值锁存在最大值, 产生 WDT_timeout) 时, 系统进入 SLEEP 模式, 并复位相应的寄存器 (复位配置寄存器组 A/B/C/D, 但是不会复位数据寄存器组和状态寄存器组)。

■ WDT 计数器清零情况 (这些信号由 osc_32k 时钟进行同步释放处理):

1. 上电复位 por_rstn;
2. 软件复位 soft_rstn;
3. 有效指令 (每个 PEC 匹配的有效指令);
4. 唤醒信号。

■ WDT 溢出不进 SLEEP 模式, 不复位系统情况:

1. 配置为监测模式 (发送 MNT 指令), 等待 WDT 溢出进入监测模式;

5.1.2 放电定时器(Discharge Timer)

放电定时器的定时时钟是 osc_32k, 定时时间可以配置。这种配置中放电开关开启时间由配置寄存器组 B 中的 DCTO 值决定。当放电定时器在自主均衡模式下开启, 看门狗溢出, 也不会关闭放电开关。

放电定时器在监测模式下的自主均衡情况下使用, 对均衡时间进行配置, 如果定时溢出则会自动关闭放电开关 DCC, 停止放电。

时间设置和对应的 DCTO 的值如表 5.1 所示。

表 5.1 时间设置和对应的 DCTO 的值

DCTO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	a	b	c	d	e	f
时间(min)	0	0.5	1	2	3	4	5	10	15	20	30	40	60	75	90	120

放电定时器 Discharge Timer 的状态可以通过读取配置寄存器组 RDCFGB 来确定, DCTO 的值对应的放电定时器的时间如表 5.2 所示。

表 5.2 DCTO 的值对应的放电定时器的时间

DCTO(Read Value)	放电定时剩余时间(min)
0	不使能或溢出
1	0~0.5
2	0.5~1
3	1~2
4	2~3



5	3~4
6	4~5
7	5~10
8	10~15
9	15~20
A	20~30
B	30~40
C	40~60
D	60~75
E	75~90
F	90~120

放电定时器清零信号由系统复位（sys_rstn）以及写配置寄存器组 B 构成，该信号由放电定时时钟进行同步释放处理，对于配置寄存器组 B 每次 PEC 匹配的有效指令时产生，DCTO 重新开始定时。

在自主均衡时，如果需要使用放电定时器，则在进入监测模式之前配置寄存器组 B 的 DCTO。自主均衡时如果所有电池欠压关闭均衡开关，均衡停止，但放电定时器不会停止，继续计数直到溢出。如果退出监测模式还没有溢出，需要退出监测模式之后关闭放电定时器（配置寄存器组 B 的 DCTO = 0）。

注：osc_32k 时钟误差范围在± 30%

第六章 放电均衡

6.1 功能介绍

Balance 模块功能是对电池均衡进行时序控制，芯片可以监控 16 节电池均衡，内部有 16 个开关用于进行电池放电控制，芯片通过 S 引脚进行均衡放电，可以进行自主均衡和指令均衡。

功能特点：

- 支持指令均衡和自主均衡
- 16 节电池均衡开关单独可配置
- 指令均衡模式下，奇数和偶数节的电池可配置，均衡时间由主机决定
- 指令均衡模式下，WDT 溢出可以复位寄存器组 B，会关闭均衡开关
- 自主均衡的周期时间可配(1~64s)，占空比可配(10%~100%)
- 自主均衡下可以周期监测电池欠压，如果欠压则关闭相应电池放电开关
- 如果芯片过温（125°C）复位寄存器组 B，关闭均衡

6.2 指令均衡

指令均衡是要在 STANDBY 模式下主机发送均衡指令 STRBL 开启均衡，指令里的 BL_EN 位需要配置为 1。电池均衡奇偶节不能同时进行，指令 OESEL 位是对均衡电池奇偶节数的选择，OESEL = 0 选择奇数节进行均衡放电；OESEL = 1 选择偶数节进行均衡放电。每次只能是奇数节均衡或者只能是偶数节均衡（不能再均衡期间发送指令改变奇偶选择）。

发送开启指令之前首先要写配置寄存器组 B 的均衡开关 DCC[15:0]，把需要均衡的电池开关打开，相应 DCC 位置 1。均衡时间由主机控制，当不需要均衡时主机可以发送位带 BL_EN = 0 的 STRBL 指令，停止均衡。

注：指令均衡指令关闭和开启之间至少间隔 60μs。STRBL 指令配置详情见操作指令及指令描述。

当均衡一段时间，主机可以发送指令停止均衡，然后可以发送 ADCV 电池电压测量指令来检测电池电压，如果放电不满足要求就再次开启均衡。

当均衡一段时间，主机也可以不停止均衡，直接发送 ADC 转换指令来测量，因为 ADC 转换指令中的 DISCP 位有放电允许位。如果电池测量指令中 DISCP = 1，则在电池测量期间 S 引脚放电状态不改变；如果 DISCP = 0，S 引脚的放电状态将关闭，当测量完成后电池可以继续放电。

指令均衡时 WDT 正常计数，如果 WDT 溢出时，主机还没有发送停止均衡指令，则会复位配置寄存器组 CFGB 中的 DCC 位，即 DCC 位会被置 0，放电停止，关闭放电均衡使能。

注：如果测试过程中不清 WDT，2s 时间内没有有效的指令，WDT 发生复位，就会复位放电均衡使能 BL_EN = 0。

如果芯片温度大于 125°C，状态寄存器组 STATD 中的 HTOV1 置位，同时关闭均衡开关 DCC，均衡总

开关总信号 1 清零,单节电池均衡开关控制信号清零,放电停止,同时需要主机发送带 BL_EN = 0 的 STRBL 均衡指令关闭 BL_EN。

指令均衡流程图如图 6.1 所示。

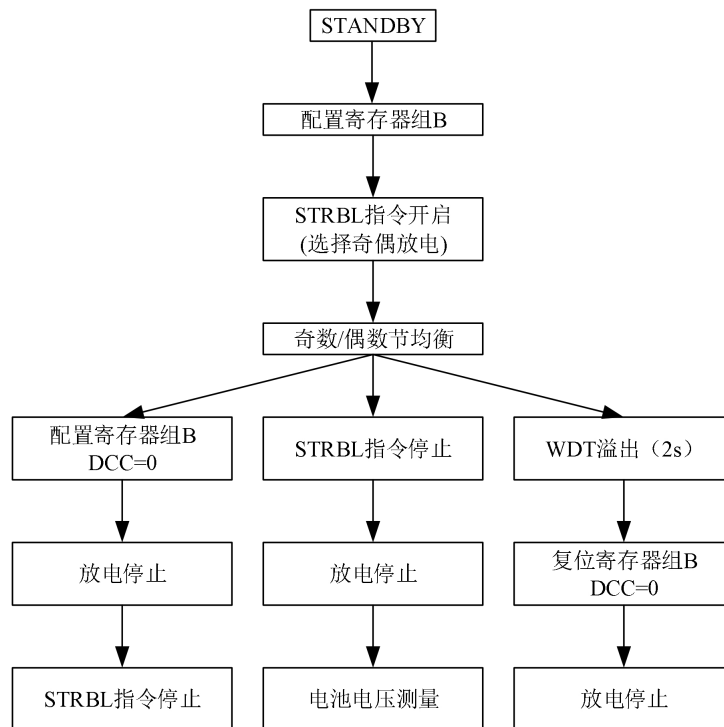


图 6.1 指令均衡流程图

注: 在指令均衡过程中也可以配置寄存器组打开或者关闭电池放电开关, 并且可以发送均衡停止指令。

6.3 自主均衡

自主均衡是在 STANDBY 模式下, 主机发送带 BL_EN = 1 的 MNT 监测指令等待 WDT 溢出时进入监测模式, 监测测量一次之后, 定时期间 (放电定时时间 DCTO 可以通过配置寄存器组 B 配置) 开启均衡, 先均衡奇数节再均衡偶数节, 一个均衡周期内, 奇数节和偶数节的均衡时间各占一半, 占空比可以通过配置寄存器组 B 的 BL_DUTY_SEL 进行配置, 占空比范围 10%~100%, 步进 10%; 均衡的周期可以通过配置寄存器 D 的 TIME_SEL_M 进行配置, 周期范围 1s~64s, 步进 1s。所以均衡前需要配置寄存器组 B 和配置寄存器组 D。

自主均衡时序流程如图 6.2 所示。

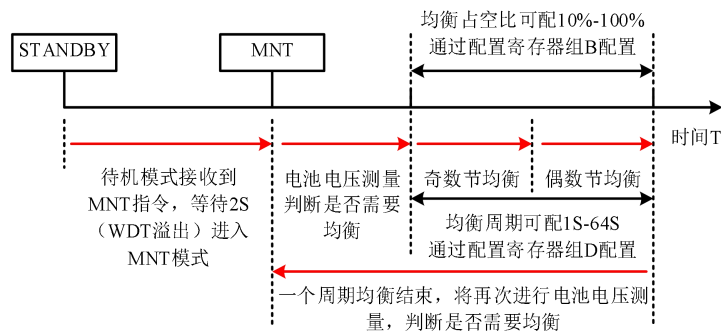


图 6.2 自主均衡时序流程

注：配置寄存器组 B/D 详细配置描述参考寄存器章节。

均衡检测是在每个均衡周期结束时，自动执行所有的电池的电压检测（ADC 的相关配置按照 ADC 指令配置）。当配置寄存器组 B 中的 $DTMEN = 1$ ，则欠压开始执行，对于任何欠压的电池，将自动清除配置寄存器组 B 中的相关 DCC 位，该电池不再放电；当配置寄存器组 B 中的 $DTMEN = 0$ 时，不进行欠压比较，即如果电池欠压，也不会关闭相应放电开关 DCC。

如果芯片温度大于 125°C ，状态寄存器组 STATD 中的 $HTOV1$ 置位，同时复位均衡开关 DCC， $BL_EN = 0$ （均衡开关总信号 2），放电停止，同时会把异常上报主机。

当出现异常时，则发送异常报警信号（异常报警信号为一个 Long+1 脉冲）上报主机，菊花链 SPI 唤醒时间为 $10\mu\text{s}$ （菊花链 SPI 唤醒时间可有配置寄存器组 D 配置），监测模式下时钟和电源均为打开状态，只需要唤醒菊花链 SPI 通信。对于异常报警脉冲信号会每隔一段时间向主机上报错误，间隔时长可以通过配置寄存器组 D 配置。

在发送异常报警信号时，单方向发送报警信号，如果主机一个 Timer 周期没有响应，就会切换方向继续发送报警信号。当主机接收到异常上报，则会发送指令，只要是有效指令就会关闭发送异常上报。

注：

1. 芯片在报警过程中，不会切换芯片的主从方向；
2. 单方向发送报警信号，主机没有处理后，切换方向，继续发送报警信号；
3. 唤醒信号双向传递。
4. 上报异常间隔时间由配置寄存器组 D 配置，范围 $200\text{ms}\sim 800\text{ms}$ ，步进 200ms ，在没有配置的情况下默认值 800ms 。
5. 如果退出监测模式，主机要发送停止监测指令，退出监测模式，进入 STANDBY 模式。

自主均衡流程图如图 6.3 所示。

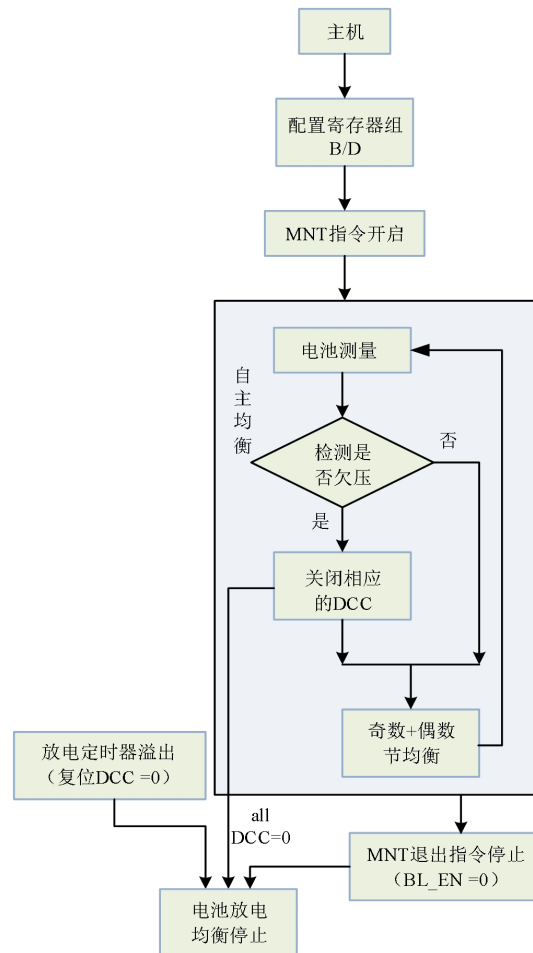


图 6.3 自主均衡流程图

在均衡过程中，检测的电池电压通过寄存器组 CFGD 配置，全部欠压或者放电定时器溢出时，DCC 全部关闭，停止放电，但是仍处于监测模式，系统仍然会定时启动检测，直到主机发送指令退出监测模式。退出监测模式之后，关闭放电定时器，配置 DCTO = 0。均衡过程中如果发生监测异常（电池的过压/欠压、外部温度、芯片温度 VTEMP 和芯片温度），仍然会发送异常上报信号。

注：放电定时器在自主均衡之前配置 DCTO! = 0 进行使能，开始定时等到 WDT (2s) 溢出后进入监测模式，开始自主均衡。测量期间不均衡，但是放电定时器继续计数，直到溢出或者配置 DCTO = 0 计数停止。

第七章 SPI 通信

7.1 通信概述

BF8915A 的 SPI 是串行、同步、半双工的通信接口。最高可支持 1MHz 通信频率。支持 CPOL = 1 和 CPHA = 1 模式，在此模式中 SDI 的数据须在 CK 的上升沿稳定。

SPI 模块主要功能：

- (1) 广播写指令；
- (2) 广播写数据（指令广播、数据移位）；
- (3) 广播读数据（指令广播、数据移位）。

7.2 通信协议

7.2.1 数据链层

数据链层连接图如图 7.1 所示。

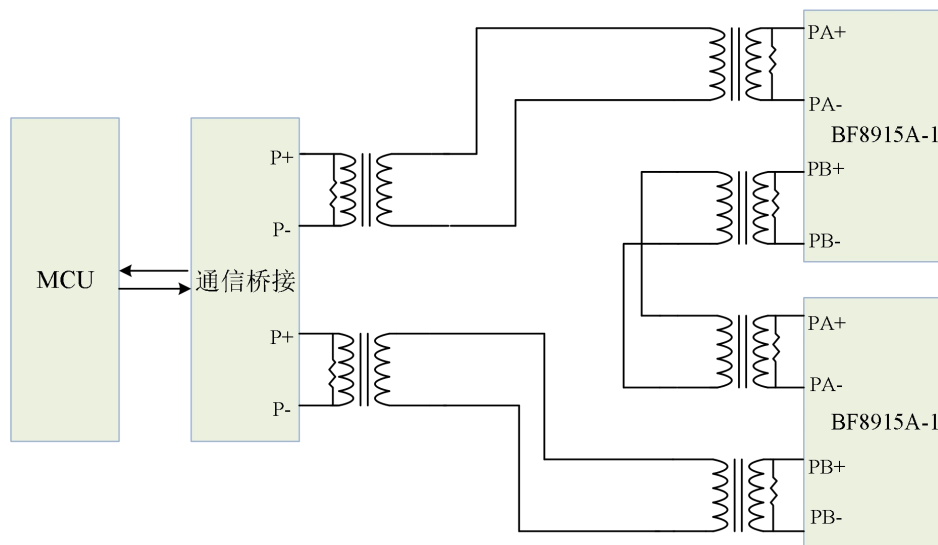


图 7.1 数据链层连接图

说明：

1. 芯片的所有数据传输都是由字节组成进行；
2. 每个 Byte 有 8Bit，首先使用最高有效位 MSB 进行传输字节；
3. 在命令序列的整个持续时间，包括命令字节和后续数据之间，CS 必须保持低电平；
4. 在写数据时，数据被锁存在 CS 的上升沿。

7.2.2 总线协议

读取协议关系如表 7.1 所示。



表 7.1 读取协议关系

CMD0	第一个命令字节(高 8 位)
CMD1	第二个命令字节(低 8 位)
PEC0	第一个 PEC 字节(高 8 位)
PEC1	第二个 PEC 字节(低 8 位)
n	字节数目
...	协议的延续部分
	主控制器至从机
	从机至主控制器

广播轮询指令如表 7.2 所示。

表 7.2 广播轮询指令

8	8	8	8	
CMD0	CMD1	PEC0	PEC1	轮询数据

广播写命令如表 7.3 所示。

表 7.3 广播写命令

指令				距离主机最远的设备					距离主机最近的设备		
8	8	8	8	8	...	8	8	8	8	...	8
CMD0	CMD1	PEC0	PEC1	数据字节 低	...	数据字节 高	PEC0	PEC1	移出字节 1	...	移出字节 n

广播读命令如表 7.4 所示。

表 7.4 广播读命令

指令				距离主机最近的设备					距离主机最远的设备		
8	8	8	8	8	...	8	8	8	8	...	8
CMD0	CMD1	PEC0	PEC1	数据字节 低	...	数据字节 高	PEC0	PEC1	移出字节 1	...	移出字节 n

命令格式：命令的格式如下表所示，CC[12:0]是 13 位的命令代码。所有命令的 CMD0[7]到 CMD0[5] 的值固定为 0。PEC 的值必须基于 16 位命令(CMD0 和 CMD1)进行计算。命令格式如表 7.5 所示。

表 7.5 命令格式

NAME	RD/WR	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
CMD0	WR	0	0	0	CC[12]	CC[11]	CC[10]	CC[9]	CC[8]
CMD1	WR	CC[7]	CC[6]	CC[5]	CC[4]	CC[3]	CC[2]	CC[1]	CC[0]

PEC 格式如表 7.6 所示。

表 7.6 PEC 格式



NAME	RD/WR	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
PEC0	WR	PEC[14]	PEC[13]	PEC[12]	PEC[11]	PEC[10]	PEC[9]	PEC[8]	PEC[7]
PEC1	WR	PEC[6]	PEC[5]	PEC[4]	PEC[3]	PEC[2]	PEC[1]	PEC[0]	0

在发送任何命令时，命令字节 CMD0、CMD1 和 PEC 字节 PEC0、PEC1 按照以下顺序发送：CMD0、CMD1、PEC0、PEC1。

在对菊花链上每一个设备发送写入指令时，数据被发送到每一个设备，并跟随着 PEC。例如，当寄存器组 A 写入到菊花链的两个设备(主设备 P、堆叠设备 S)时，数据按照以下顺序从主控 MCU 发出（先发送距离最远的设备的数据，再依次发送距离近的设备的数据）：

CFGAR0(S)、CFGAR1(S)、CFGAR2(S)、CFGAR3(S)、CFGAR4(S)、CFGAR5(S)、PEC0(S)、PEC1(S)；
CFGAR0(P)、CFGAR1(P)、CFGAR2(P)、CFGAR3(P)、CFGAR4(P)、CFGAR5(P)、PEC0(P)、PEC1(P)。

在对菊花链设备发送读取指令后，每个设备从 PORT A 口移出其数据和计算后的 PEC，然后在 PORT B 接收数据（下一级设备数据）。例如，当从两个菊花链设备(主设备 P、堆叠设备 S)读取状态寄存器组，主控 MCU 会接收到以下顺序的数据（先接收到距离最近的设备的数据，再依次接收到距离远的设备的数据）：

STBR0(P)、STBR1(P)、STBR2(P)、STBR3(P)、STBR4(P)、STBR5(P)、PEC0(P)、PEC1(P)
STBR0(S)、STBR1(S)、STBR2(S)、STBR3(S)、STBR4(S)、STBR5(S)、PEC0(S)、PEC1(S)

菊花链所有配置的设备同时接收命令。例如，要在一个设备堆栈中启动 ADC 转换，发送单个的 ADCV 命令，并且所有设备中都同时开始转换。

对于读写命令，只发送一个命令，然后堆栈设备有效的转变级联移位寄存器，其中数据通过每个设备传递到堆栈中下一个更远(写)或者下一个更近(读)设备中。

7.2.3 检错码(PEC)

检错码(PEC)是寄存器组所有数据计算后的 15 位循环冗余校验值(CRC)，使用 PEC 的初始值为 000_0000_0001_0000，使用的多项式为 $\chi^{15}+\chi^{14}+\chi^{10}+\chi^8+\chi^7+\chi^4+\chi^3+1$ 。

芯片计算接收到的任何数据命令和数据的 PEC，并将其于命令和数据后面的 PEC 进行比较。只有当 PEC 匹配时，该命令或数据才被视为有效。芯片在溢出数据的末尾，附加了计算得到的 PEC。

7.2.4 轮询 ADC 状态

确定 ADC 完成的最简单的方法就是控制器开启一个 ADC 转换，等待指定转换时间后，再读取结果。还有一种方法是轮询 ADC 状态。

轮询 ADC 状态：在发送 ADC 转换指令后，执行其他任务，然后发送轮询 ADC 状态指令（PLADC），保持 CS 为低电平，并发送时钟，SDO 在芯片转换过程中输出为 0（当通信模式为菊花链 SPI，则发出低的菊花链 SPI 脉冲）。当芯片完成转换后，SDO 拉高。但是，即使设备没有完成转换，CS 拉高，SDO 也会拉高。即拉高 CS，退出轮询模式。

在 N 个堆叠设备的菊花链配置中，使用这种轮询模式。如果底层的设备以 SPI 模式通信，底层设备的 SDO 指示整个堆栈的转换状态。也就是说，在堆栈中的所有设备都完成转换前，SDO 将保持为低。CS 保

持低电平的同时，在 CK 上发送 PLADC 命令和时钟脉冲。在前 N 时钟脉冲期间，菊花链的底层设备将输出 0 或者低的菊花链 SPI 脉冲。SDO 状态仅在 CK 的 N 脉冲结束时才有效。并在随后的每个时钟周期，菊花链上的设备在每个时钟脉冲下降沿更新状态。

状态更新如图 7.3 所示。

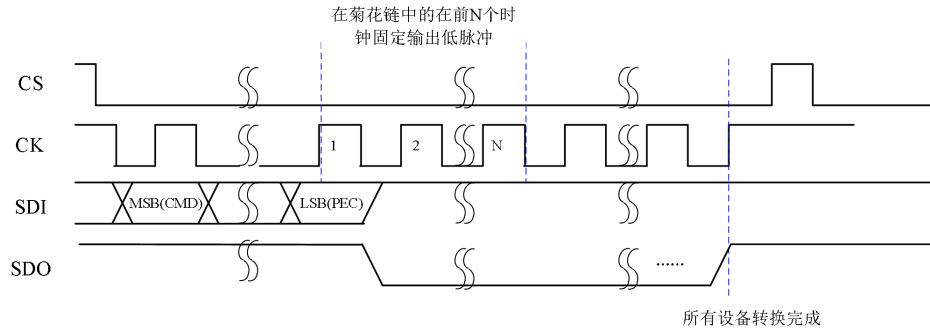


图 7.3 状态更新

7.3 SPI 接口应用

7.3.1 SPI 接口描述

BF8915A-1 芯片中有两组 SPI 接口(PORT A 和 PORT B)。PORT A 有菊花链 SPI 通信接口和四线 SPI 通信接口两种表现形式(使用 SPIMD 管脚进行选择控制)；PORT B 只有菊花链 SPI 通信接口。

该芯片用于菊花链配置两个菊花链 SPI 通信接口(SPIMD = VD5)使用引脚 53、54、55 和 56；配置四线 SPI 通信接口(SPIMD = VSSA)使用引脚 51、52、53 和 54。配置端口如表 7.7 所示。

表 7.7 配置端口

	SPIMD = 1		SPIMD = 0
PORT A	51	NC	SDI
	52	NC	SDO
	53	PA-	CS
	54	PA+	CK
PORT B	55	PB-	PB-
	56	PB+	PB+

引脚功能描述如表 7.8 所示。

表 7.8 引脚功能描述

名称	描述
SPIMD	串口通信模式选择。如果选择连接到 VD5，表示 PORT A 选择菊花链 SPI 通信；如果选择连接到 VSSA，表示 PORT A 选择四线 SPI 通信。
CS、CK、SDI、SDO	四线串行通信。低电平有效片选端(CS)、时钟信号(CK)、串行输入(SDI)、串行输出(SDO)。
PA-、PA+	菊花链 SPI 串行通信接口 A。一对差分信号。
PB-、PB+	菊花链 SPI 串行通信接口 B。一对差分信号。
SPI_R_S	电阻分压器选择引脚

ICOM、VCOM	1, 当 SPI_R_S = VD5 时, 通过芯片内部电阻分压器设置信号发送驱动电流 I_{DRIVE} 和信号接收比较器门限电压 V_T
	ICOM置0,VCOM置0: $I_{DRIVE} = 20mA$, $V_T = 0.5V$
	ICOM置0,VCOM置1: $I_{DRIVE} = 15mA$, $V_T = 0.375V$
	ICOM置1,VCOM置0: $I_{DRIVE} = 10mA$, $V_T = 0.25V$
	ICOM置1,VCOM置1: $I_{DRIVE} = 5mA$, $V_T = 0.125V$
	2, 当 SPI_R_S = VSSA 时, 允许用户通过自主配置外部电阻分压器设置信号发送驱动电流 I_{DRIVE} 和信号接收比较器门限电压 V_T 。

7.3.2 标准四线串行外围设备接口 SPI 通信

7.3.2.1 外部连接

标准四线 SPI 通信有数据接收引脚(SDI)、数据发送引脚(SDO)、时钟信号(CK)、片选信号(CS 非)组成。当芯片的通信模式选择引脚 SPIMD 连接至 VSSA, 则可以针对四线 SPI 通信来配置串行端口。

标准四线 SPI 通信外部连接关系如下图 7.4 所示。

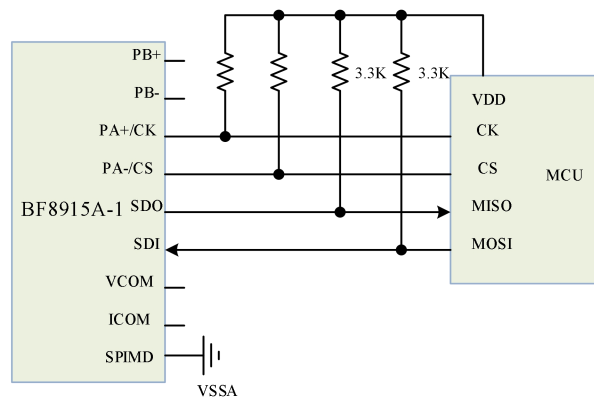


图 7.4 标准四线 SPI 通信外部连接关系

7.3.2.2 时序

四线串行端口配置为在 $CPHA = 1$ 和 $CPOL = 1$ 的 SPI 系统中运行。因此, 在 CK 的上升沿期间 SDI 上的数据必须稳定。最大通信频率为 1MHz, 为了保证更高的通信频率下也能够运行, 设备在生产测试中使用了更高频率进行测试。

标准四线 SPI 时序如图 7.5 所示。

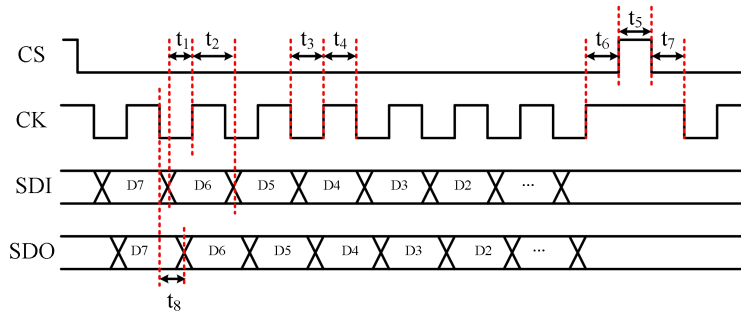


图 7.5 标准四线 SPI 时序

时序测试时间如表 7.9 所示。

表 7.9 时序测试时间

参数	参数说明	条件	最小	典型	最大	单位
t_{CLK}	CLK 时钟周期	---	1	---	---	μs
t_1	SDI 建立时间(CK 上升沿)	---	25	---	---	ns
t_2	SDI 保持时间(CK 上升沿)	---	25	---	---	ns
t_3	CK 低电平时间	$t_{CLK} = t_3 + t_4 \geq 1\mu s$	300	---	---	ns
t_4	CK 高电平时间	$t_{CLK} = t_3 + t_4 \geq 1\mu s$	300	---	---	ns
t_5	CS 高电平时间	---	1	---	---	μs
t_6	CK 上升沿到 CS 上升沿的时间间隔	---	1	---	---	μs
t_7	CS 下降沿到 CK 上升沿的时间间隔	---	1	---	---	μs
t_8	CK 下降沿之后 SDO 有效时间	---	---	---	60	ns

7.3.3 菊花链 SPI 串行通信外围设备接口

7.3.3.1 基本原理

菊花链 SPI 通信接口提供了一种使用双绞线互连设备，通过外部变压器进行隔离。将标准的四线 SPI 信号编码为差分脉冲，传输的脉冲强度和接收器的阈值由 ICOM 和 VCOM 配置。

菊花链 SPI 通信的工作原理图如图 7.6 所示。

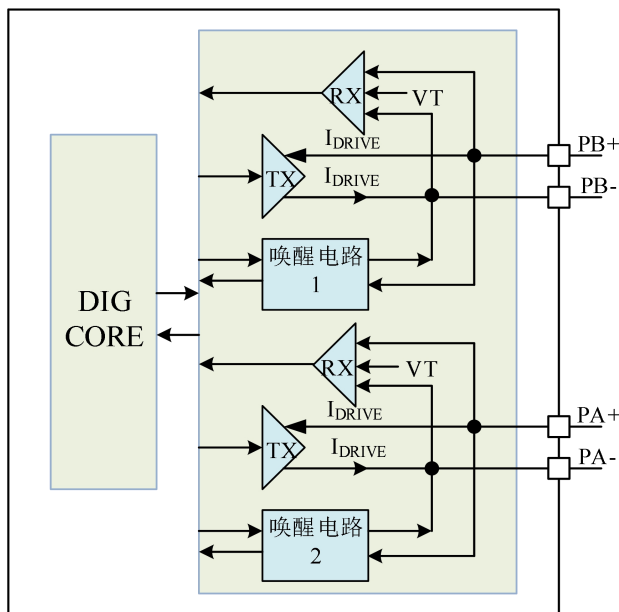


图 7.6 菊花链 SPI 通信的工作原理图

当 SPI_R_S=VD5 时，通过芯片内部电阻分压器设置信号发送驱动电流 I_{DRIVE} 和信号接收比较器门限电压 V_T ：

- ICOM 置 0，VCOM 置 0： $I_{DRIVE}=20\text{mA}$ ， $V_T=0.5\text{V}$ ；
- ICOM 置 0，VCOM 置 1： $I_{DRIVE}=15\text{mA}$ ， $V_T=0.375\text{V}$ ；
- ICOM 置 1，VCOM 置 0： $I_{DRIVE}=10\text{mA}$ ， $V_T=0.25\text{V}$ ；
- ICOM 置 1，VCOM 置 1： $I_{DRIVE}=5\text{mA}$ ， $V_T=0.125\text{V}$ 。

当 SPI_R_S=VSSA 时，允许用户通过自主配置外部电阻分压器设置信号发送驱动电流 I_{DRIVE} 和信号接收比较器门限电压 V_T ，即通过引脚 ICOM、VCOM 配置。电路配置如图 7.7 所示。

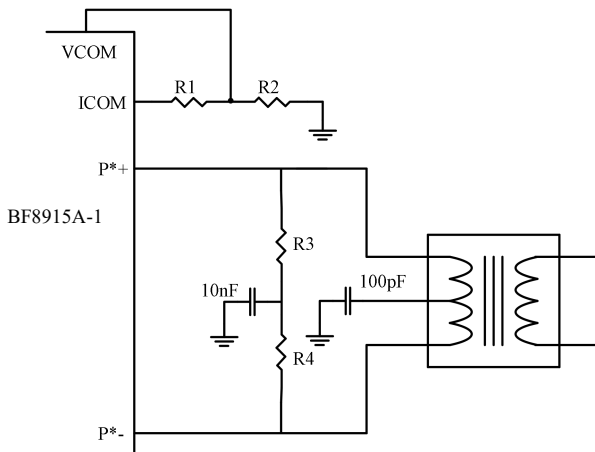


图 7.7 电路配置

其中 $I_{DRIVE}=20*[2/(R1+R2)]$ ， I_{DRIVE} 的大小决定着系统的功耗以及信号传输时的抗噪声性能， I_{DRIVE} 在一定的范围内变化，低的 I_{DRIVE} 可以降低系统的功耗；而高的 I_{DRIVE} 可以增加传输差分信号的幅度，从而提高抗噪声干扰。 $V_T=1/2*R2*[2/(R1+R2)]$ ，差分信号的脉冲幅度 $V = R3*I_{DRIVE}$ ，当 $(P+)-(P-)$ 大于 V_T 时，比较器输出一个逻辑+1；当 $(P+)-(P-)$ 于 $-V_T$ 时，比较器输出一个逻辑-1；当 V_T 大于 $-((P+)-(P-))$ 而小于 $(P+)-(P-)$ 时，比较器输出一个逻辑 0。

7.3.3.2 外部连接

芯片有两个串行菊花链 SPI 通信接口：PORT A 和 PORT B。PORT B 是固定的菊花链 SPI 通信接口。PORT A 是菊花链 SPI 通信/四线 SPI 通信可选($SPIMD = VSSA$ ，选择四线 SPI； $SPIMD = VD5$ ，选择菊花链 SPI 通信。

当 PORT A 配置为四线 SPI 通信接口时，PORT A 是从机接口，PORT B 是主机接口，通信是从菊花链的第一个设备的 PORT A 开始启动的。

当 PORT A 配置为菊花链 SPI 通信接口时，通信可以从 PORT A 或 PORT B 上启动。如果 PORT A 上启动了通信，芯片将 PORT A 配置为从机，PORT B 配置为主机。同样，如果从 PORT B 上启动通信，芯片将把 PORT B 配置为从机，PORT A 配置为主机。

芯片级联分为两种，变压器隔离连接和电容隔离连接， $R1\sim R4$ 电阻的目的是为了匹配通信能力和抗干扰能力。 $R1\sim R4$ 选择不超过 $R5\sim R8$ 的 20%，超过 20%会造成通信能力下降甚至不通信；但是 $R1\sim R4$ 接近于 0R 的时候，可能会因为干扰对器件造成损伤。因此权衡利弊这里取到 10R，芯片电容隔离如图 7.8 所示。

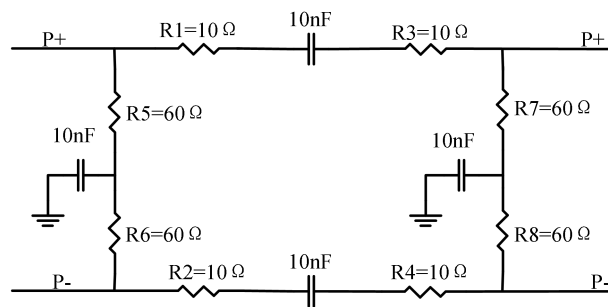


图 7.8 芯片通信电容隔离

芯片变压器隔离如图 7.9 所示。

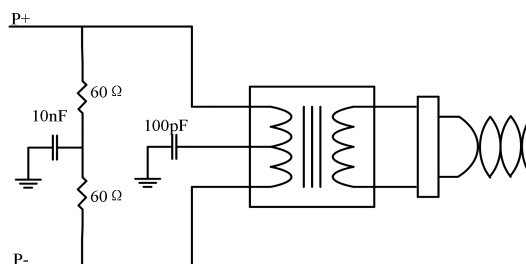


图 7.9 芯片通信变压器隔离

7.3.3.3 菊花链 SPI 通信脉冲细节

两个芯片设备可以通过双绞线，来回发送和接收差分脉冲信号。发送器能够输出三个电平： $+VA$ 、 $0V$ 和 $-VA$ 。长脉冲（Long）用于传输 CS 变化，短脉冲（Short）用于传输数据。脉冲描述如表 7.11 所示。

表 7.11 脉冲描述

脉冲类型	第一电平	第二电平	结束电平
Long+1	$+VA$ (150ns)	$-VA$ (150ns)	$0V$
Long-1	$-VA$ (150ns)	$+VA$ (150ns)	$0V$
Short+1	$+VA$ (50ns)	$-VA$ (50ns)	$0V$
Short-1	$-VA$ (50ns)	$+VA$ (50ns)	$0V$

为了消除直流信号成分和提高可靠性，菊花链 SPI 通信使用了不同的脉冲长度。如下表所示，允许有四种类型的脉冲。-1 脉冲：在负脉冲之后，发送一个正脉冲；+1 脉冲：在正脉冲之后，发送一个负脉冲。每个脉冲的持续时间被定义为 $t_{1/2PW}$ ，因为每个脉冲是所需对称的一半(总的菊花链 SPI 持续时间是 $2*t_{1/2PW}$)。序列如图 7.10 所示。

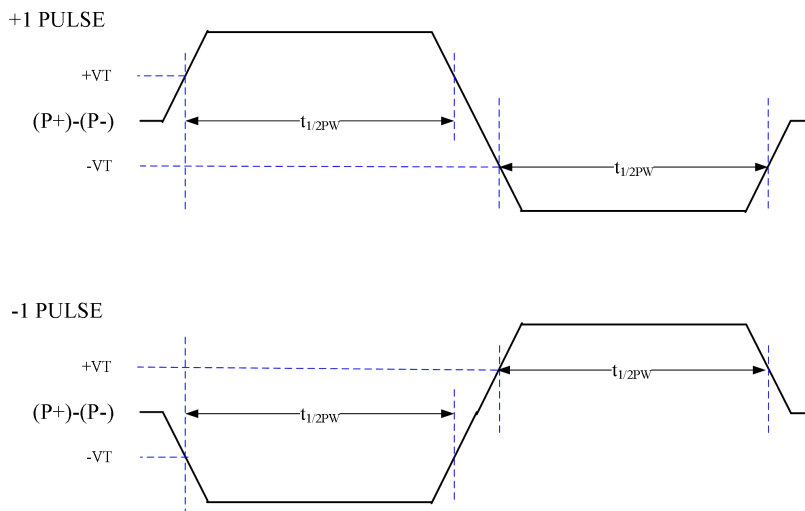


图 7.10 序列

脉冲序列时间参数如表 7.12 所示。

表 7.12 脉冲序列时间参数

参数	参数说明	条件	最小值	典型值	最大值	单位
$t_{1/2PW(cs)}$	CS 半脉冲宽度	---	120	150	180	ns
$t_{1/2PW(data)}$	DATA 半脉冲宽度	---	40	50	60	ns

7.3.3.4 菊花链 SPI 通信时序对应原理

四线的标准 SPI 通信接口时序，可以总结为 6 种通信事件：CS 下降沿、CS 上升沿、CK 上升沿(SDI = 1)、CK 上升沿(SDI = 0)、CK 下降沿(SDO = 1)、CK 下降沿(SDO = 0)。每个通信事件都可以转化为菊花链

传输中的四种脉冲类型之一。

事件对应脉冲类型关系如表 7.13 所示。

表 7.13 事件对应脉冲类型关系

事件	对应菊花链 SPI 通信的脉冲	
CS 上升沿	Long+1	主机发送数据
CS 下降沿	Long-1	
CK 上升沿(SDI=1)	Short+1	
CK 上升沿(SDI=0)	Short-1	
CK 下降沿(SDO=1)	---	从机在 READ 过程中， 返回数据
CK 下降沿(SDO=0)	Short-1	

从机菊花链 SPI 通信不发送长脉冲(CS), 而且从机菊花链 SPI 通信仅发送 Short-1 脉冲, 不会发送 Short+1 脉冲, 主机识别空响应为逻辑 1。

7.3.3.5 可逆菊花链 SPI 通信特性说明

当芯片将 PORT A 配置为菊花链 SPI 通信, 通信可以从 PORT A 或者 PORT B 的任意一个端口启动, 换句话说, 芯片可以根据通信的方向, 将 PORT A 或者 PORT B 配置为主机或者从机。菊花链 SPI 通信的可逆特性允许菊花链上的设备可以双向通信。

菊花链 SPI 通信的可逆操作应用如图 7.11 所示。

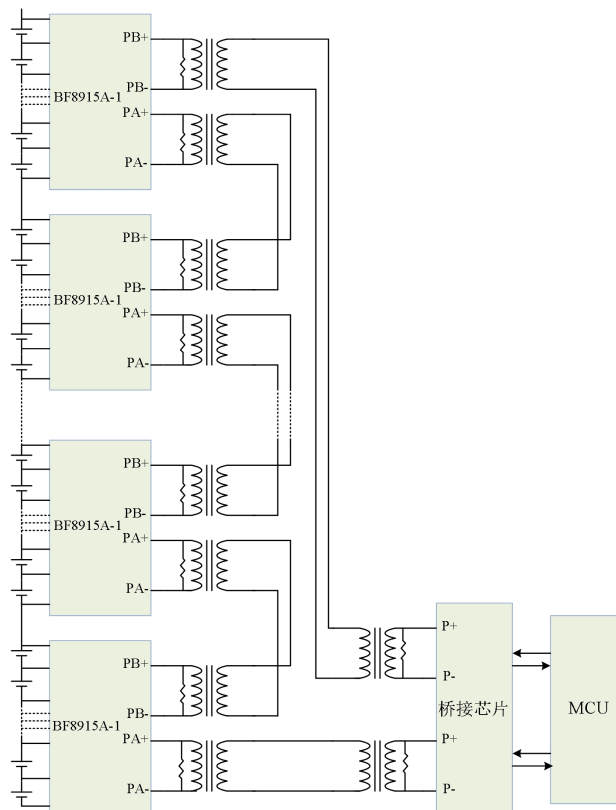


图 7.11 菊花链 SPI 通信的可逆操作应用

菊花链 SPI 通信可逆特性原理图如图 7.12 所示。

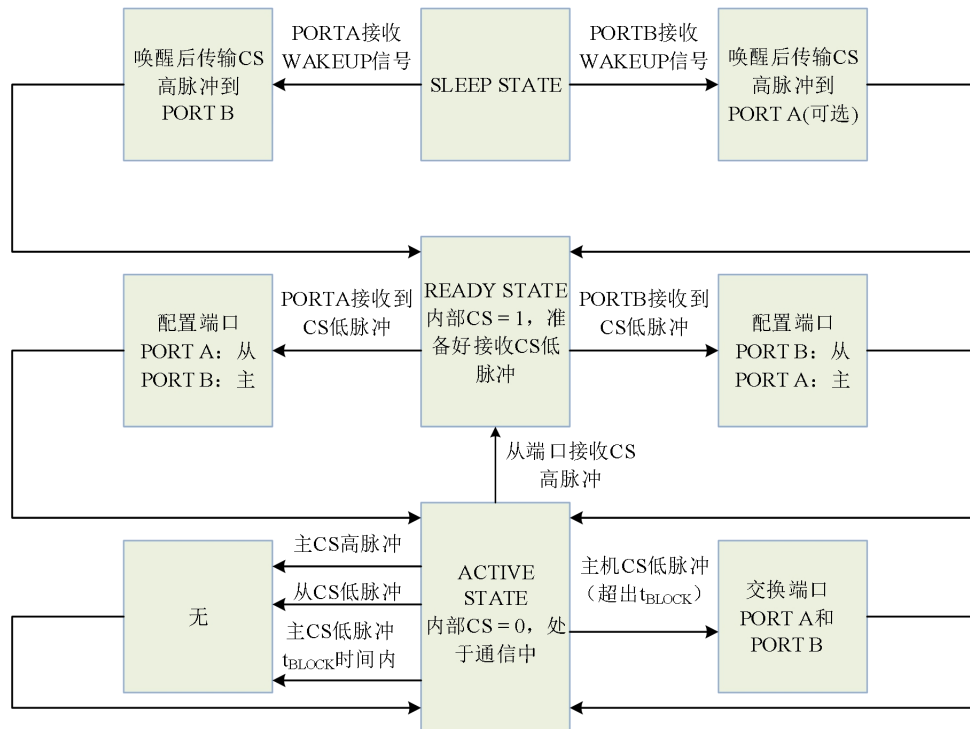


图 7.12 菊花链 SPI 通信可逆特性原理图

当芯片处于 SLEEP 模式时，会对 PORT A 或者 PORT B 上的有效 WAKEUP 信号做出响应。对 SPIMD 引脚的任意一个配置都是如此。

当 PORT A 接收到 WAKEUP 信号时，菊花链 SPI 通信唤醒后，芯片发送一个 Long+1 菊花链 SPI 通信脉冲(CS 上升沿)到 PORT B 上。当 PORT B 接收到 WAKEUP 信号时，菊花链 SPI 通信唤醒后，芯片会发送一个 Long+1 菊花链 SPI 通信脉冲(CS 上升沿)到 PORT A 上。

当芯片处于 READY 模式下，通信会通过 PORT A 或者 PORT B 发送一个 Long-1 脉冲(CS 下降沿)。芯片自动配置接收到 Long-1 菊花链 SPI 通信脉冲(CS 下降沿)的端口为从机，另一端口为主机。菊花链 SPI 通信通过主机接口传输到菊花链的其他设备。

在 ACTIVE 状态，芯片处于通信中间状态内部 SPI 的 CS 端口为低电平。在结束通信时，从机接口接收到 Long+1 菊花链 SPI 通信脉冲(CS 上升沿)，将部分返回 READY 模式。虽然不是正确的通信规则，芯片允许 PORT A 和 PORT B 在 ACTIVE 状态下交换。该功能用于主机控制器收回与当前通信无关的从机接口。该功能可以通过在部分传输最后一个菊花链 SPI 通信信号，延迟 t_{BLOCK} 时间，发送一个长 Long-1 菊花链 SPI 通信脉冲(CS 下降沿)到主机接口。在 t_{BLOCK} 时间里，部分拒绝任何的 Long 菊花链 SPI 通信脉冲。

确保了终端电缆(<100m 长度)的信号反馈，芯片不会切换端口。

7.4 串行接口唤醒

如果在 t_{IDLE} 时间内 PORT A 或者 PORT B 没有通信，端口（四线 SPI 或者菊花链 SPI 通信）将进入低功耗空闲状态。WAKEUP 电路监测通信端口（四线 SPI 或者菊花链 SPI 通信）的活动。

当 $SPIMD = VSSA$ 时,PORT A 是四线 SPI 模式,CS 和 CK 的变化将要唤醒 SPI 接口;当 $SPIMD = VD5$ 时,PORT A 是菊花链 SPI 通信模式,PA-和 PA+（或者 PB-和 PB+）上的压差将唤醒菊花链 SPI 通信接口。当菊花链 SPI 通信在 t_{WAKE} （CORE 处于 SLEEP 状态）或者 t_{READY} （CORE 处于工作状态）时间内切换为 READY，芯片将随时准备通信。

唤醒时序图（仅 PORT A）如图 7.13 所示。普通的信号不会唤醒串行接口，差分信号 $|CK(PA+)-CS(PA-)|$ 必须满足至少 $V_{WAKE} = 200mV$ ，时间最少 $t_{DWELL} = 240ns$ ，才可以作为 WAKEUP 信号，用来唤醒串行接口。

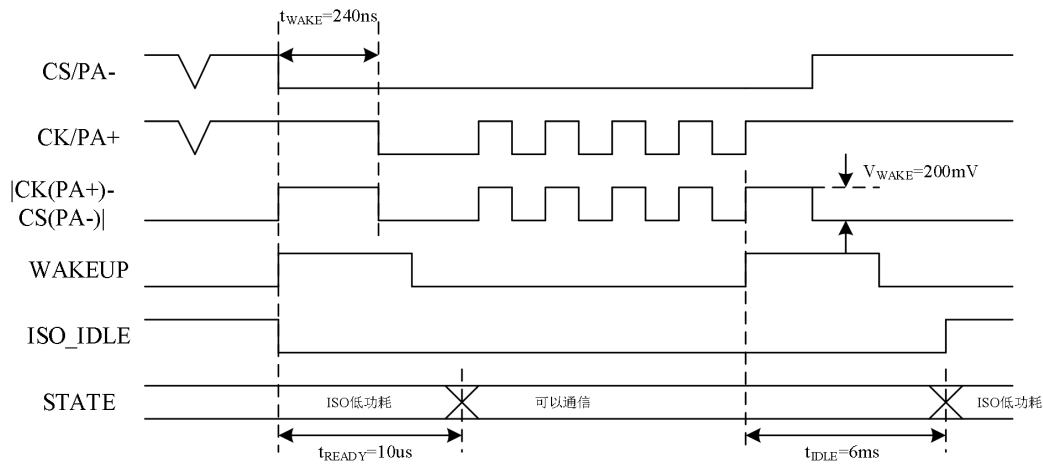


图 7.13 唤醒时序图（仅 PORT A）

7.4.1 唤醒菊花链通信—情况一

当菊花链上所有设备都进入 IDLE 之后，如果 PORT A 接收到唤醒信号，在芯片唤醒完成准备通信之后，芯片从 PORT B 发送一个 Long+1 菊花链 SPI 通信（CS 上升沿）。在菊花链通信中，该脉冲可以唤醒菊花链中的下一个设备，接着依次唤醒之后的设备。如果菊花链中有 n 个设备，所有设备的唤醒时间为 $N*t_{WAKE}$ （CORE 处于 SLEEP 状态）或者 $N*t_{READY}$ （CORE 处于工作状态）。对于大型的菊花链， $N*t_{WAKE}$ 可能会大于 t_{IDLE} ，这种情况下，主机等待的时间比 $N*t_{WAKE}$ 时间长，主机需要再次发送另一个空 Byte 并等待 $N*t_{WAKE}$ 以确保所有设备处于就绪状态。

情况一需要在菊花链上的所有设备处于 IDLE 状态时使用，这保证了他们将 WAKE 信号沿菊花链方向上传播。但是，如果菊花链上部分设备处于 READY 状态而非 IDLE 状态时，此方法将无法唤醒所有设备。当这种情况发生时，处于 READY 状态的设备将不会传播唤醒脉冲，所以上面的方法将保持 IDLE 状态。这种方法发生在仅间隔 t_{IDLE} 时间，就试图唤醒菊花链（部分设备进入 IDLE 模式，部分设备没有进入 IDLE

模式)。

情况一唤醒状态图如图 7.14 所示。

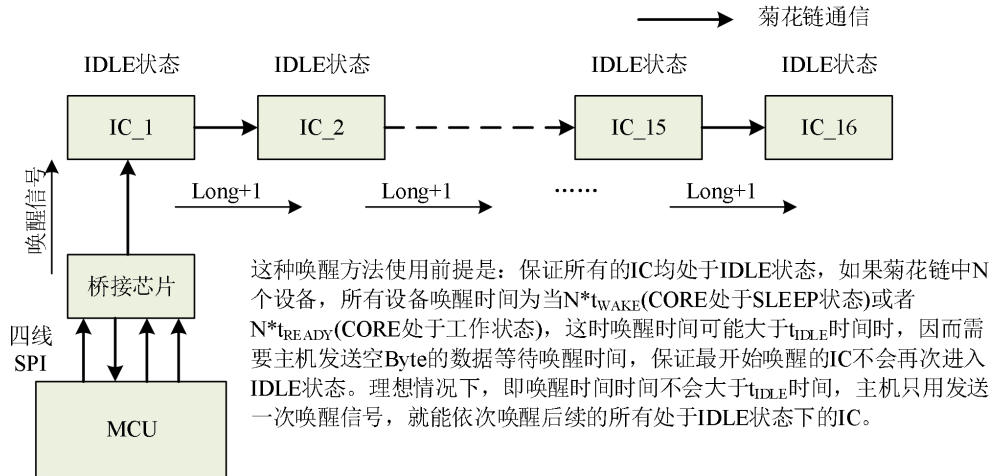


图 7.14 情况一唤醒状态图

7.4.2 唤醒菊花链通信—情况二

一个有效的唤醒方法，并不依赖芯片的唤醒传递功能，而是手动发送菊花链 SPI 通信足够时间用来唤醒整个菊花链通信。至少每个设备需要一个 Long 菊花链 SPI 脉冲 (Long+1 或者 Long-1)，他们之间的间隔大于 t_{READY} (CORE 处于 SLEEP 状态) 或者 t_{WAKE} (CORE 处于工作状态)，但小于 t_{IDLE} 。这使得每个设备唤醒之后，将脉冲传递到下一个设备中，即使菊花链中的部分设备处于 IDLE 状态，这种方法也是可以工作的。

在实践中，情况二需要主控芯片翻转 CS 引脚，以产生 Long 菊花链 SPI 通信脉冲。或者发送空指令 (例如：RDCFGA 或无效的空 Byte) 来产生 Long 菊花链 SPI 通信脉冲。

情况二唤醒描述如图 7.15 所示。

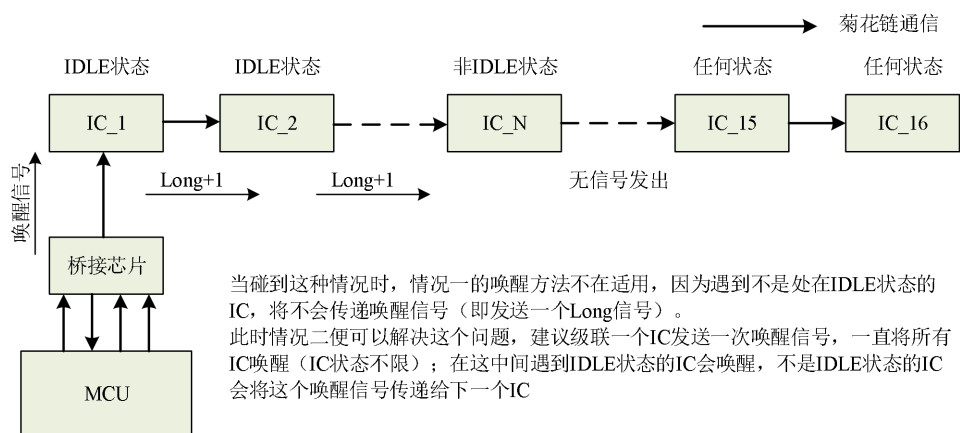


图 7.15 情况二唤醒描述

注：一个空 Byte 是指任何一个字节都可以，不过在这里尽量避免有效的指令。



第八章 操作指令

8.1 操作指令配置

指令描述	NAME	CMD [12:0]	Bit [12:9]	Bit8	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
1. 写寄存器组指令（后面要写入寄存器数据）												
写配置寄存器组 A	WRCFG A	0x0001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
写配置寄存器组 B	WRCFG B	0x0002	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
写配置寄存器组 C	WRCFG C	0x0003	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
写配置寄存器组 D	WRCFG D	0x0004	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
2. 读寄存器组指令												
读配置寄存器组 A	RDCFG A	0x0005	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
读配置寄存器组 B	RDCFG B	0x0006	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
读配置寄存器组 C	RDCFG C	0x0007	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
读配置寄存器组 D	RDCFG D	0x0008	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
读电池电压寄存器组 A	RDCV A	0x0009	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
读电池电压寄存器组 B	RDCV B	0x000a	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0
读电池电压寄存器组 C	RDCV C	0x000b	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1
读电池电压寄存器组 D	RDCV D	0x000c	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0
读电池电压寄存器组 E	RDCV E	0x000d	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1
读电池电压寄存器组 F	RDCV F	0x000e	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0
读 GPIO 电压寄存器组 A	RDGVA	0x000f	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
读 GPIO 电压寄存器组 B	RDGVB	0x0010	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
读 GPIO	RDGVC	0x0011	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1



电压寄存器组 C												
读状态寄存器组 A	RDSTAT A	0x0012	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0
读状态寄存器组 B	RDSTAT B	0x0013	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1
读状态寄存器组 C	RDSTAT C	0x0014	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0
读状态寄存器组 D	RDSTAT D	0x0015	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1
3. 其他指令												
电池电压 ADC 转换	ADCV		1	0	1	OSR[1]	OSR[0]	DISCP	CSEL[3]	CSEL[2]	CSEL[1]	CSEL[0]
电池断线电压 ADC 转换	ADCOW		2	CLKSEL[1]	CLKSEL[0]	OSR[1]	OSR[0]	DISCP	CSEL[3]	CSEL[2]	CSEL[1]	CSEL[0]
电池电压自测试转换	CVST		3	0	1	OSR[1]	OSR[0]	SFTEST	0	0	0	0
电池电压重叠测试	ADOL		4	0	1	OSR[1]	OSR[0]	DISCP	0	0	0	1
GPIO 的 ADC 转换	ADGP		5	0	1	OSR[1]	OSR[0]	0	GSEL[3]	GSEL[2]	GSEL[1]	GSEL[0]
GPIO 自测试转换	GPST		7	0	1	OSR[1]	OSR[0]	SFTEST	0	0	0	0
内部参数 ADC 转换	ADSTAT		8	0	1	OSR[1]	OSR[0]	0	STSEL[3]	STSEL[2]	STSEL[1]	STSEL[0]
内部参数自测试转换	STATST		9	0	1	OSR[1]	OSR[0]	SFTEST	0	0	0	0
电池和 GPIO0, GPIO1 组合转换	ADCVGP		A	0	1	OSR[1]	OSR[0]	DISCP	0	0	0	0
监测模式指令	MNT		C	0	1	OSR[1]	OSR[0]	MNMOD[1]	MNMOD[0]	STRMN	0	BL_EN
开启被动均衡	STRBL		D	0	1	OSR[1]	OSR[0]	OESEL	0	0	0	BL_EN
清除电池电压寄存器组	CLRCEL L	0x0081	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
清除 GPIO 寄存器组	CLRGP	0x0082	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0
清除状态寄存器组	CLRSTAT	0x0083	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1
轮询 ADC 转换状态	PLADC	0x0084	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1
软件复位	SOFRST	0x0055	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1



注：1. ADCV、ADCOW、CVST、ADOL、ADGP、GPST、ADSTAT、STATST、ADCVGP 操作指令在 STANDBY 模式下发送有效，在其他模式下发送这些指令无效。

2. 监测模式指令(MNT)：在 STANDBY 模式下发送开启指令有效，MONITOR 模式下发送停止指令有效。

3. 开启被动均衡(STRBL)：STANDBY 模式下开启和停止均衡指令有效，在其他模式下无效。

8.2 操作指令配置描述

名称	描述	数值描述	
CSEL[3:0]	ADC 转换的电池选择	0	所有电池 CELL1~CELL16
		1	电池 CELL1 和 CELL9
		2	电池 CELL2 和 CELL10
		3	电池 CELL3 和 CELL11
		4	电池 CELL4 和 CELL12
		5	电池 CELL5 和 CELL13
		6	电池 CELL6 和 CELL14
		7	电池 CELL7 和 CELL15
		8	电池 CELL8 和 CELL16
		其他	不测量，指令无效
GSEL[3:0]	ADC 转换的 GPIO 选择	0	所有 GPIO0~GPIO7 和 VD33T
		1	GPIO0
		2	GPIO1
		3	GPIO2
		4	GPIO3
		5	VD33T
		6	GPIO4
		7	GPIO5
		8	GPIO6
		9	GPIO7
其他	不测量，指令无效		
STSEL[3:0]	ADC 转换的内部参数选择	0	所有内部参数 VD33、VH、VD7、VD5、VD4、VTEMP、VREF2、VREF_LP
		1	VD33
		2	VH
		3	VD7
		4	VD5
		5	VD4
		6	VTEMP
		7	VREF2
		8	VREF_LP
其他	不测量，指令无效		
OSR[1:0]	ADC 过采样率的选择		OSR_SEL = 0
		0	64
		1	128
		2	256
		3	512



DISCP	放电允许	0	放电不允许	
		1	放电允许	
SFTEST	自测试模式选择		自测试转换结果	
		0	自测试 1	0x6666
		1	自测试 2	0x9999
MNMOD[1:0]	监测模式选择	00	不进入监测模式，指令无效	
		01	监测模式	
STRMN	监测模式使能	1	开启监测模式	
		0	关闭监测模式	
DOWN	GPIO 断线检测电流源选择	0	上拉电流源	
		1	下拉电流源	
OESEL	均衡放电电池奇偶选择	0	奇数节	
		1	偶数节	
BL_EN	均衡开关总控制信号 2	0	0：关闭	
		1	1：开启	

注：1. DISCP 放电允许位：如果电池指令的 DISCP 位为 1，在电池测量器件 S 引脚的放电状态不改变如果 DISCP = 0，当对应的电池和相邻的电池被测量时，S 引脚状态不使能。



第九章 寄存器

9.1 寄存器及描述

NAME	Bit(S)	NAME	R/W	SPEC	POWERON/ RESET
配置寄存器组 A(CFGA)					
CFGAR0	<7:0>	GPIO[7:0]	R/W	GPIO0~7 引脚的控制。 写 0: GPIO 引脚下拉使能; 1: 引脚下拉关闭(默认); 读 0: GPIO 引脚的值是 0; 1: 引脚的值是 1	8'h00
CFGAR1	<7:0>	IO_MOD[7:0]	R/W	GPIO0~7 模式选择。 0: 模拟输入; 1: 普通 GPIO	8'h00
CFGAR2	<7:2>	RSVD	R/W	保留寄存器	8'h00
	1	OSR_SEL	R/W	ADC 过采样率选择: 0: 过采样率选择 64/128/256/512 (四种过采样率通过指令的 OSR 选择) 这个寄存器位要和指令的 OSR 一起配置选择 ADC 过采样率, 如《指令配置描述》所示。	
	0	REFON	R/W	VREF 配置: 1: VREF 保持上电直到 WDT 溢出; 0: ADC 转换完成之后 VREF 关闭 (默认)。 注: 进入监测模式之前建议配置 REFON = 0, 测量之前配置 REFON = 1, 启动 VREF 要等待上电完成之后或者测量之后再配置 REFON=0.	
CFGAR3	<7:0>	VUV[7:0]	R/W	欠压阈值低 8 位: 当电池电压高 12 位小于欠压阈值时, 置位欠压标志 (只有测量完成不欠压时才会把标志置 0)	8'h00
CFGAR4	<7:4>	VOV[3:0]	R/W	过压阈值低 4 位 当电池电压高 12 位大于欠压阈值时, 置位过压标志 (只有测量完成不过压时才会把标志置 0)	8'h00
	<3:0>	VUV[11:8]	R/W	欠压阈值高 4 位	
CFGAR5	<7:0>	VOV[11:4]	R/W	过压阈值高 8 位	8'h00
注: WDT 复位会复位配置寄存器组 A					
配置寄存器组 B(CFGB)					
CFGBR0	<7:0>	DCC8~DCC1	R/W	放电电池开关 x=1~8: 1: 打开 CELLx 的开关; 0: 关闭 CELLx 的开关(默认)。 当放电定时器溢出、欠压 (小于 VUV_BL)、芯片过温 125°C 关闭放电开关	8'h00
CFGBR1	<7:0>	DCC16~DCC9	R/W	放电电池开关 x=9~16: 1: 打开 CELLx 的开关; 0: 关闭 CELLx 的开关(默认) 当放电定时器溢出、欠压 (小于 VUV_BL)、芯片过温 125°C 关闭放电开关	8'h00
CFGBR2	<7:4>	BL_DUTY_SEL	R/W	主动均衡占空比选择: 占空比=(BL_DUTY_SEL+1)*10%,配置范围 10%~100%, 当大于 9 时是 100%。周期由监测模式下的定时时间 TIME_SEL_M 配置, 电池节数奇数和偶数放电时间各一半。	8'h00
	<3:0>	DCTO[3:0]	R/W	放电定时溢出值配置(详细说明如 DCTO 表所示) (自主均衡之前打开, 当退出监测模式时, 如果放电定时器没有溢	



				出, 需要关闭放电定时器 DCTO = 0; WDT 计数溢出 (2s) 后进入监测模式才开始均衡, 放电定时器在这个期间已经开始计数, 包含了 WDT 的定时 2s)	
CFGBR3	<7:0>	VUV_BL[7:0]	R/W	均衡欠压阈值低 8 位: 如果自主均衡的电压值高 12 位小于欠压阈值, 则关闭相应的电池放电开关	8'h00
CFGBR4	<7:5>	RSVD	R/W	保留寄存器	8'h00
	<4>	DTMEN	R/W	使能放电计数器监视器。 1: 使能放电计数器监视器 0: 不使能放电监视器 在自主均衡模式下, 如果 DTMEN = 1, 当欠压 (小于 VUV_BL) 关闭放电开关; 如果 DTMEN=0, 不进行欠压比较。	
	<3:0>	VUV_BL[11:8]	R/W	均衡欠压阈值高 4 位	
CFGBR5	<7:0>	RSVD0	R	保留寄存器, 读回值总是 0	8'h00
配置寄存器组 C(CFGC)					
CFGCR0	<7:0>	VUV_M[7:0]	R/W	监测模式下, 欠压阈值低 8 位 当电池电压高 12 位小于欠压阈值时, 置位欠压标志。	8'h00
CFGCR1	<7:4>	VOV_M[3:0]	R/W	监测模式下, 过压阈值低 4 位 当电池电压高 12 位大于过压阈值时, 置位过压标志。	8'h00
	<3:0>	VUV_M[11:8]	R/W	监测模式下, 欠压阈值高 4 位	
CFGCR2	<7:0>	VOV_M[11:4]	R/W	监测模式下, 过压阈值高 8 位	8'h00
CFGCR3	<7:0>	ITOV_M[7:0]	R/W	监测模式下, 芯片过温阈值低 8 位 当内部节温电压高 12 位大于过温阈值时, 置位过温标志 ITOV。	8'h00
CFGCR4	<7:4>	EXTOV_M[3:0]	R/W	监测模式下, 外部过温阈值低 4 位 当 GPIO 电压值高 12 位小于过温阈值时, 置位过温标志 ITOV。	8'h00
	<3:0>	ITOV_M[11:8]	R/W	监测模式下, 芯片过温阈值高 4 位	
CFGCR5	<7:0>	EXTOV_M[11:4]	R/W	监测模式下, 外部过温阈值高 8 位	8'h00
配置寄存器组 D(CFGD)					
CFGDR0	<7:0>	CSEL_M[7:0]	R/W	监测模式下, 电池电压监测选择 CELL1~CELL8: 1: 相应的电池就会在监测模式下进行过压比较, 置标志位; 0: 相应的电池就会在监测模式下不进行过压比较, 不置标志位。	8'h00
CFGDR1	<7:0>	CSEL_M[15:8]	R/W	监测模式下, 电池电压监测选择 CELL9~CELL16: 1: 相应的电池就会在监测模式下进行过压比较, 置标志位; 0: 相应的电池就会在监测模式下不进行过压比较, 不置标志位	8'h00
CFGDR2	<7:0>	GSEL_M[7:0]	R/W	监测模式下, GPIO1~GPIO8 比较选择: 1: 相应的电池就会在监测模式下进行过温 (小于外部温度阈值) 比较, 置标志位; 0: 相应的电池就会在监测模式下不进行过温比较 (小于外部温度阈值), 不置标志位	8'h00
CFGDR3	<7>	ISOSPI_WAKE_T	R/W	菊花链 SPI 通信唤醒时间: 0:10μs; (选择默认) 1:20μs。	8'h00
	<6>	ADC_RST_SEL	R/W	测量第一个通道 ADC 复位选择: 0: 所有测量通道都复位 ADC; (选择默认) 1: 只有第一个通道复位 ADC, 之后 2~n 通道不复位 ADC。	
	<5:0>	TIME_SEL_M[5:0]	R/W	监测模式下, 定时监测时间配置: 定时时间=(TIME_SEL_M+1)*1s, 时间范围 2~64s, 最小配置值是 1 (2s), 这个时间配置和均衡周期配置共用。	
CFGDR4	<7:4>	ADC_INIT_T2[3:0]	R/W	ADC 测量第 2~n 个通道 ADC 初始化时间(ADC_INIT_T1+1)*20μs, 时间范围: 20~320μs。	8'h00
	<3:0>	ADC_INIT_T1[3:0]	R/W	ADC 测量第 1 个通道 ADC 初始化时间(ADC_INIT_T2+1)*100μs, 时间范围: 100~1600μs。	



CFGDR5	<7>	TRIM2_EN	R/W	ADC2 校准使能： 1：使能；（选择默认配置，ADC 需要使能） 0：不使能	1'b1
	<7>	TRIM1_EN	R/W	ADC1 校准使能： 1：使能；（选择默认配置，ADC 需要使能） 0：不使能	1'b1
	<5:4>	ERR_T_SEL_M[1:0]	R/W	监测模式下发生异常，上报间隔时间： 00:200ms； 01:400ms； 10:600ms； 11:800ms。 默认上报间隔时间为 800ms。	2'h11
	<3:0>	VD33T_ON_M[3:0]	R/W	监测模式下： VREF 和 VD33T 的启动时间配置，时间=（5+VD33T_ON_M*10） ms，范围是 5~155ms	4'h0
电池电压寄存器组 A(CVA)					
CVAR0	<7:0>	C1V[7:0]	R	CELL1 电池的 8 位， CELLx 的 16 位 ADC 测量数值，CELL Voltage for CELLx =(CxV*5V) /2^16,上电和清零指令 CLRCELL 之后 CxV 被复位成 0xFF	8'hff
CVAR1	<7:0>	C1V[15:8]	R	CELL1 电压的高 8 位	8'hff
CVAR2	<7:0>	C2V[7:0]	R	CELL2 电压的低 8 位	8'hff
CVAR3	<7:0>	C2V[15:8]	R	CELL2 电压的高 8 位	8'hff
CVAR4	<7:0>	C3V[7:0]	R	CELL3 电压的低 8 位	8'hff
CVAR5	<7:0>	C3V[15:8]	R	CELL3 电压的高 8 位	8'hff
电池电压寄存器组 B(CVB)					
CVBR0	<7:0>	C4V[7:0]	R	CELL4 电压的低 8 位	8'hff
CVBR1	<7:0>	C4V[15:8]	R	CELL4 电压的高 8 位	8'hff
CVBR2	<7:0>	C5V[7:0]	R	CELL5 电压的低 8 位	8'hff
CVBR3	<7:0>	C5V[15:8]	R	CELL5 电压的高 8 位	8'hff
CVBR4	<7:0>	C6V[7:0]	R	CELL6 电压的低 8 位	8'hff
CVBR5	<7:0>	C6V[15:8]	R	CELL6 电压的高 8 位	8'hff
电池电压寄存器组 C(CVC)					
CVCR0	<7:0>	C7V[7:0]	R	CELL7 电压的低 8 位	8'hff
CVCR1	<7:0>	C7V[15:8]	R	CELL7 电压的高 8 位	8'hff
CVCR2	<7:0>	C8V[7:0]	R	CELL8 电压的低 8 位 在执行 ADOL 指令后，CVCR2 和 CVCR3 将包含来自 ADC1 测量 CELL9 的结果。	8'hff
CVCR3	<7:0>	C8V[15:8]	R	CELL8 电压的高 8 位	8'hff
CVCR4	<7:0>	C9V[7:0]	R	CELL9 电压的低 8 位	8'hff
CVCR5	<7:0>	C9V[15:8]	R	CELL9 电压的高 8 位	8'hff
电池电压寄存器组 D(CVD)					
CVDR0	<7:0>	C10V[7:0]	R	CELL10 电压的低 8 位	8'hff
CVDR1	<7:0>	C10V[15:8]	R	CELL10 电压的高 8 位	8'hff
CVDR2	<7:0>	C11V[7:0]	R	CELL11 电压的低 8 位	8'hff
CVDR3	<7:0>	C11V[15:8]	R	CELL11 电压的高 8 位	8'hff
CVDR4	<7:0>	C12V[7:0]	R	CELL12 电压的低 8 位	8'hff
CVDR5	<7:0>	C12V[15:8]	R	CELL12 电压的高 8 位	8'hff
电池电压寄存器组 E(CVE)					
CVER0	<7:0>	C13V[7:0]	R	CELL13 电压的低 8 位	8'hff
CVER1	<7:0>	C13V[15:8]	R	CELL13 电压的高 8 位	8'hff
CVER2	<7:0>	C14V[7:0]	R	CELL14 电压的低 8 位	8'hff
CVER3	<7:0>	C14V[15:8]	R	CELL14 电压的高 8 位	8'hff
CVER4	<7:0>	C15V[7:0]	R	CELL15 电压的低 8 位	8'hff



CVER5	<7:0>	C15V[15:8]	R	CELL15 电压的高 8 位	8'hff
电池电压寄存器组 F(CVF)					
CVFR0	<7:0>	C16V[7:0]	R	CELL16 电压的低 8 位	8'hff
CVFR1	<7:0>	C16V[15:8]	R	CELL16 电压的高 8 位	8'hff
CVFR2	<7:0>	DSVD1	R	保留寄存器, 读回值总是 1	8'hff
CVFR3	<7:0>	DSVD1	R	保留寄存器, 读回值总是 1	8'hff
CVFR4	<7:0>	DSVD1	R	保留寄存器, 读回值总是 1	8'hff
CVFR5	<7:0>	DSVD1	R	保留寄存器, 读回值总是 1	8'hff
GPIO 寄存器组 A(GPIOA)					
GVAR0	<7:0>	G0V[7:0]	R	GPIO0 电压的低 8 位, GPIOx 的 16 位 ADC 测量数值, Voltage for GPIOx = (GxV*5V)/2^16, 上电和清零指令 CLRGP 之后 GxV 被复位成 0xFF	8'hff
GVAR1	<7:0>	G0V[15:8]	R	GPIO0 电压的高 8 位	8'hff
GVAR2	<7:0>	G1V[7:0]	R	GPIO1 电压的低 8 位	8'hff
GVAR3	<7:0>	G1V[15:8]	R	GPIO1 电压的高 8 位	8'hff
GVAR4	<7:0>	G2V[7:0]	R	GPIO2 电压的低 8 位	8'hff
GVAR5	<7:0>	G2V[15:8]	R	GPIO2 电压的高 8 位	8'hff
GPIO 寄存器组 B(GPIOB)					
GVBR0	<7:0>	G3V[7:0]	R	GPIO3 电压的低 8 位	8'hff
GVBR1	<7:0>	G3V[15:8]	R	GPIO3 电压的高 8 位	8'hff
GVBR2	<7:0>	VD33TV[7:0]	R	VD33TV 电压的低 8 位	8'hff
GVBR3	<7:0>	VD33TV[15:8]	R	VD33TV 电压的高 8 位	8'hff
GVBR4	<7:0>	G4V[7:0]	R	GPIO4 电压的低 8 位	8'hff
GVBR5	<7:0>	G4V[15:8]	R	GPIO4 电压的高 8 位	8'hff
GPIO 寄存器组 C(GPIOC)					
GVCR0	<7:0>	G5V[7:0]	R	GPIO5 电压的低 8 位	8'hff
GVCR1	<7:0>	G5V[15:8]	R	GPIO5 电压的高 8 位	8'hff
GVCR2	<7:0>	G6V[7:0]	R	GPIO6 电压的低 8 位	8'hff
GVCR3	<7:0>	G6V[15:8]	R	GPIO6 电压的高 8 位	8'hff
GVCR4	<7:0>	G7V[7:0]	R	GPIO7 电压的低 8 位	8'hff
GVCR5	<7:0>	G7V[15:8]	R	GPIO7 电压的高 8 位	8'hff
状态寄存器组 A(STATA)					
STAR0	<7:0>	VD33[7:0]	R	VD33 的 16 位 ADC 测量数值, Voltage for VD33=(VD33*VLSB) μ V	8'hff
STAR1	<7:0>	VD33[15:8]	R		CLRSTAT 指令之后会置 0xffff
STAR2	<7:0>	VH[7:0]	R	总电压 VH 的 16 位 ADC 测量数值, Voltage for VH = (20*VH*VLSB) μ V	8'hff
STAR3	<7:0>	VH[15:8]	R		CLRSTAT 指令之后会置 0xffff
STAR4	<7:0>	VD7[7:0]	R	VD7 电压的 16 位 ADC 测量数值, Voltage for VD7 = (3*VD7*VLSB) μ V	8'hff
STAR5	<7:0>	VD7[15:8]	R		CLRSTAT 指令之后会置 0xffff
状态寄存器组 B(STATB)					
STBR0	<7:0>	VD5[7:0]	R	VD5 电压的 16 位 ADC 测量数值, Voltage for VD5 = (2*VD5*VLSB) μ V	8'hff
STBR1	<7:0>	VD5[15:8]	R		CLRSTAT 指令之后会置 0xffff
STBR2	<7:0>	VD4[7:0]	R	VD4 电压的 16 位 ADC 测量数值, Voltage for VD4 = (2*VD4*VLSB) μ V	8'hff
STBR3	<7:0>	VD4[15:8]	R		CLRSTAT 指令之后会置 0xffff
STBR4	<7:0>	VTMP[7:0]	R	芯片节温的 16 位 ADC 测量数值, Voltage for VTEMP = (VTEMP*VLSB) μ V	8'hff
STBR5	<7:0>	VTMP[15:8]	R		CLRSTAT 指令之后会置 0xffff
状态寄存器组 C(STATC)					
STCR0	<7:0>	VREF2[7:0]	R	VREF2 电压的 16 位 ADC 测量数值, Voltage for VREF2 = (VREF2*	8'hff



STCR1	<7:0>	VREF2[15:8]	R	VLSB) μ V CLRSTAT 指令之后会置 0xffff	8'hff
STCR2	<7:0>	VREF_LP[7:0]		VREF_LP 电压的 16 位 ADC 测量数值, Voltage for VREF_LP = (VREF_LP* V _{LSB}) μ V CLRSTAT 指令之后会置 0xffff	8'hff
STCR3	<7:0>	VREF_LP[15:8]			8'hff
STCR4	<7:0>	RSVD1	R	保留寄存器, 读回值总是 1	8'hff
STCR5	<7:0>	RSVD1	R	保留寄存器, 读回值总是 1	8'hff
状态寄存器组 D(STATD)					
STDR0	<7>	C4OV	R	CELL 4 过压标志(测量模式和监测模式下的电池过压标志) 电池电压和 VOV/VOV_M 阈值进行比较 0: CELL4 电压没有达到过压条件; 1: CELL4 电压过压被标记 CLRSTAT 指令之后会置 1, 如果不测量这节电池, 状态位读出为 1 过压	8'h00
	<6>	C4UV	R	CELL 4 欠压标志 电池电压和 UOV/UOV_M 阈值进行比较 0: CELL4 电压没有达到过压条件; 1: CELL4 电压过压被标记 CLRSTAT 指令之后会置 1, 如果不测量这节电池, 状态位读出为 0 不欠压	
	<5>	C3OV	R	CELL3 过压标志	
	<4>	C3UV	R	CELL3 欠压标志	
	<3>	C2OV	R	CELL2 过压标志	
	<2>	C2UV	R	CELL2 欠压标志	
	<1>	C1OV	R	CELL1 过压标志	
	<0>	C1UV	R	CELL1 欠压标志	
STDR1	<7>	C8OV	R	CELL8 过压标志	8'h00
	<6>	C8UV	R	CELL8 欠压标志	
	<5>	C7OV	R	CELL7 过压标志	
	<4>	C7UV	R	CELL7 欠压标志	
	<3>	C6OV	R	CELL6 过压标志	
	<2>	C6UV	R	CELL6 欠压标志	
	<1>	C5OV	R	CELL5 过压标志	
<0>	C5UV	R	CELL5 欠压标志		
STDR2	<7>	C12OV	R	CELL12 过压标志	8'h00
	<6>	C12UV	R	CELL12 欠压标志	
	<5>	C11OV	R	CELL11 过压标志	
	<4>	C11UV	R	CELL11 欠压标志	
	<3>	C10OV	R	CELL10 过压标志	
	<2>	C10UV	R	CELL10 欠压标志	
	<1>	C9OV	R	CELL9 过压标志	
<0>	C9UV	R	CELL9 欠压标志		
STDR3	<7>	C16OV	R	CELL16 过压标志	8'h00
	<6>	C16UV	R	CELL16 欠压标志	
	<5>	C15OV	R	CELL15 过压标志	
	<4>	C15UV	R	CELL15 欠压标志	
	<3>	C14OV	R	CELL14 过压标志	
	<2>	C14UV	R	CELL14 欠压标志	
	<1>	C13OV	R	CELL13 过压标志	
<0>	C13UV	R	CELL13 欠压标志		
STDR4	<7>	RSVD0	R	保留寄存器, 读回值总是 0	1'b0
	<6>	CFG_ERR	R	配置字校验出错标志 (包括奇偶异或校验和 ECC 校验)	1'b0



				1: 配置字校验出错 0: 配置字校验正确	
	<5>	PEC_ERR	R	指令数据的 PEC 校验出错标志 1: PEC 校验出错 0: PEC 校验正确 CLRSTAT 指令之后清 0	1'b0
	<4>	EXTOV	R	监测模式下, 外部温度(GPIO 模拟输入)过温标志 1: 外部温度过温 0: 外部温度不过温 CLRSTAT 指令之后会置 1, 如果不监测外部温度 GSEL_M = 0, 监测标志读取值是 0	1'b0
	<3>	ITOV	R	监测模式下, 芯片温度 (VTEMP) 过温标志 1: 内部温度过温 0: 内部温度不过温 CLRSTAT 指令之后会置 1	1'b0
	<2>	HTOV2	R	保留寄存器	1'b0
	<1>	HTOV1	R	芯片温度(125°C)过温标志 1: 芯片温度过温 0: 芯片温度不过温 CLRSTAT 指令之后清 0	1'b0
	<0>	MUXFAIL	R	开关译码测试结果 0: 开关译码正确; 1: 开关译码错误 CLRSTAT 指令之后会置 1, 读清零 (测量之前如果发送 CLRSTAT 指令, 之后要读一下状态寄存器组 D 清零标志 muxfail, 保证测量之前 muxfail = 0。)	1'b0
STDR5	<7:6>	MODE_STATE	R	模式状态寄存器 00: STANDBY 模式 01: MEASURE 模式 10: MONITOR 模式 11: 保留位 (SLEEP 模式关闭时钟, 不能读出相关状态)	2'h00
	<5:0>	RES_STATE	R	复位标志寄存器 Bit[5]:放电定时器溢出复位寄存器 B 标志 Bit[4]:WDT 复位 (进入 SLEEP 模式的 WDT 溢出复位) Bit[3]:指令模式切换复位 Bit[2]:修调复位 Bit[1]:软件复位 Bit[0]:上电复位 CLRSTAT 指令之后清零	6'h01

注: ADC 数据为 16 位无符号整型数据, 且采集范围为 0~5V, 因此分辨率 $V_{LSB} = \frac{5}{2^{16}} V \approx 76.3\mu V$

第十章 应用信息

10.1 稳压电路

BF8915A-1 芯片 VD7 引脚需要消耗大部分功率，需要电压在 $7 \pm 0.5V$ 。该引脚可以利用 DRIVE 引脚外加少许简单电路形成稳压电路给 VD7 引脚供电。该稳压电路采取一个分立 NPN 晶体管进行缓冲，DRIVE 引脚（需要连接 NPN 晶体管的基极）需要输出一个不低于 7.7V 的低电流信号；集电极电源可以选取一个高于 DRIVE 引脚电压的电压，可以选择芯片监测的电池组来提供集电极的电压需求，同时集电极需要连接一个 $100R/0.1\mu F$ 的 RC 去耦电路用来保护 NPN 免遭瞬变损坏；NPN 发射极连接 VD7 引脚，外加一个 $1\mu F$ 电容进行旁路。

注：对于旁路电容的选择应该避免大容值电容，容值过大会增加芯片的唤醒时间。

稳压电路如图 10.1 所示

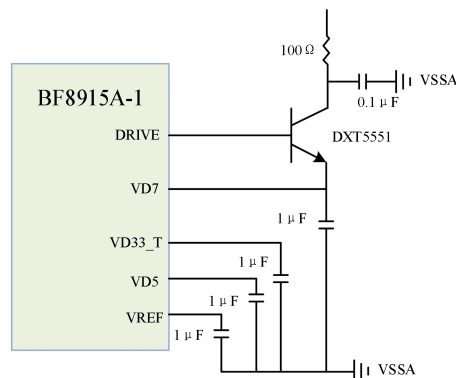


图 10.1 稳压电路

10.2 读取温度信息

利用负温度系数（NTC）热敏电阻的特性，设计简单偏置电路测量温度变化情况。一般常温（25°C）下，10k 的 NTC 是常用的传感器数值，BF8915A-1 芯片的 VD33_T 是专门为温度检测电路设计提供所需要的电流电压而设计的。偏置电阻的选择依据应该与 NTC 数值相对应，这样设计的电路在 25°C 时提供 $\frac{1}{2}$ VD33T 电压。

偏置电路如图 10.2 所示,原理：通过 ADGP 指令采集 VD33T 和 GPIO(n)模拟电压，根据公式

$$\frac{V_{GPIO(n)}}{VD33T} = \frac{R_{NTC}}{R_{NTC} + 10k\Omega}$$

计算得到在对应温度 R_{NTC} 的阻值，根据查表不同 R_{NTC} 值下对应的温度。

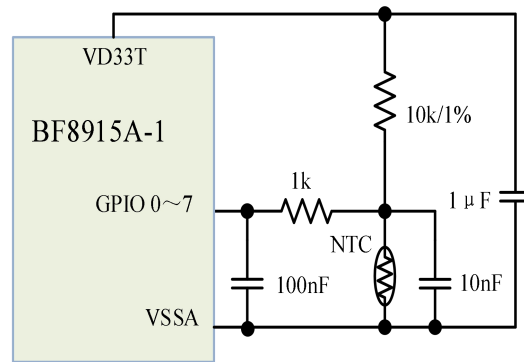


图 10.2 偏置电路

10.3 一块 PCB 上芯片堆叠

当在同一个 PCB 上连接多个 BF8915A-1 器件时，在 BF8915A-1 的菊花链 SPI 接口上仅需要单个变压器。当同一个 PCB 上有多个 BF8915A-1 器件时，噪声抑制要求显著降低且隔离要求需要简化，为此采用单个变压器在电池组上的 IC 之间提供所需要的隔离和噪声抑制应该是足够了。

一块 PCB 上多个芯片堆叠示例如图 10.3 所示。

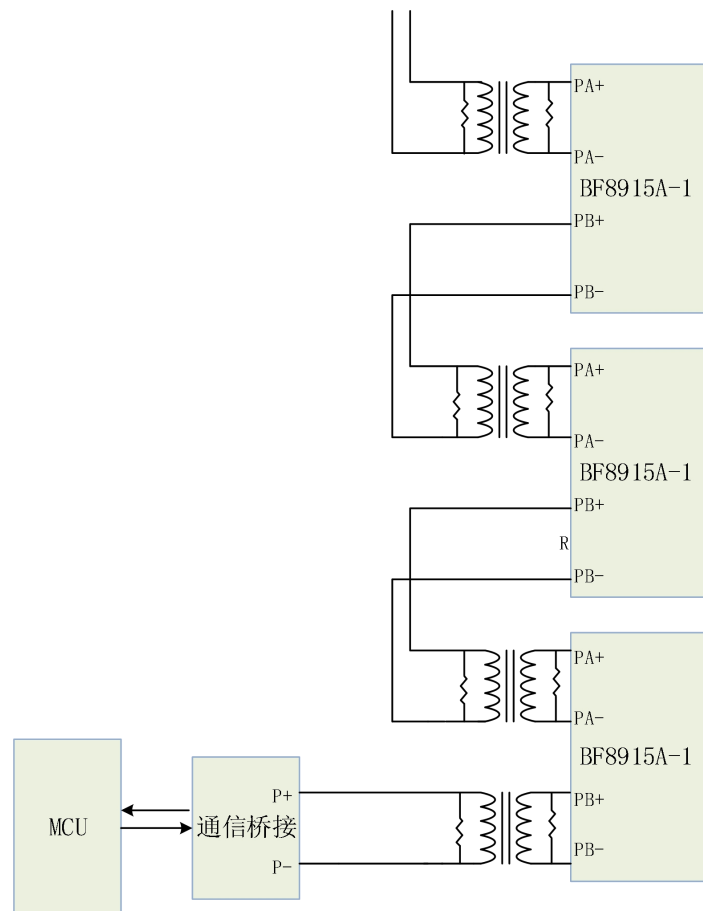


图 10.3 一块 PCB 上多个芯片堆叠示例

10.4 通信隔离

变压器隔离是一种常见的菊花链 SPI 通信的方法, 实际应用中电容也可以代替变压器起到隔离的效果, 使用电容隔离适合短距离 (1m 或者更近) 的隔离通信, 此方法节约成本, 信号的传输不需要高的噪声抑制能力, 电容隔离将提供电流隔离。

变压器隔离示例如图 10.4 所示。

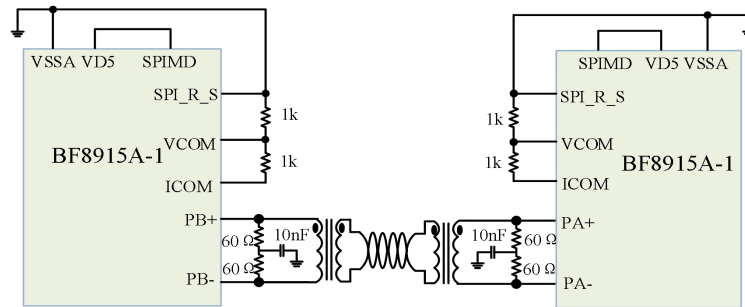


图 10.4 变压器隔离示例

电容隔离示例如图 10.5 所示。

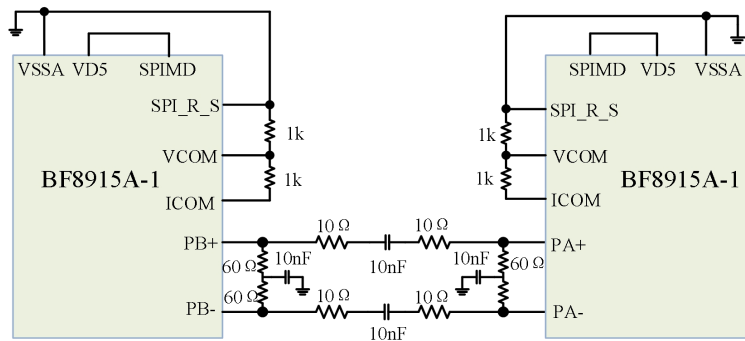


图 10.5 电容隔离示例

10.5 电量均衡

BF8915A-1 支持内部均衡和外部均衡, 最大均衡电流可达到 200mA。

内部均衡电路如图 10.6 所示。

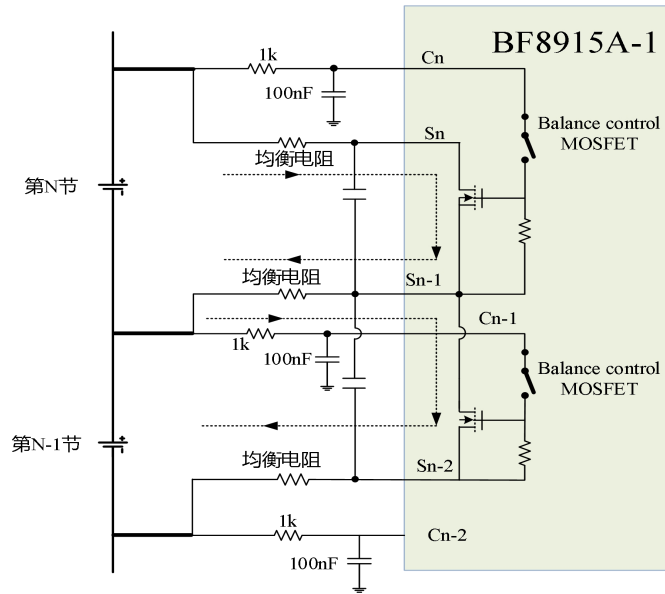


图 10.6 内部均衡电路

外部均衡电路如图 10.7 所示。

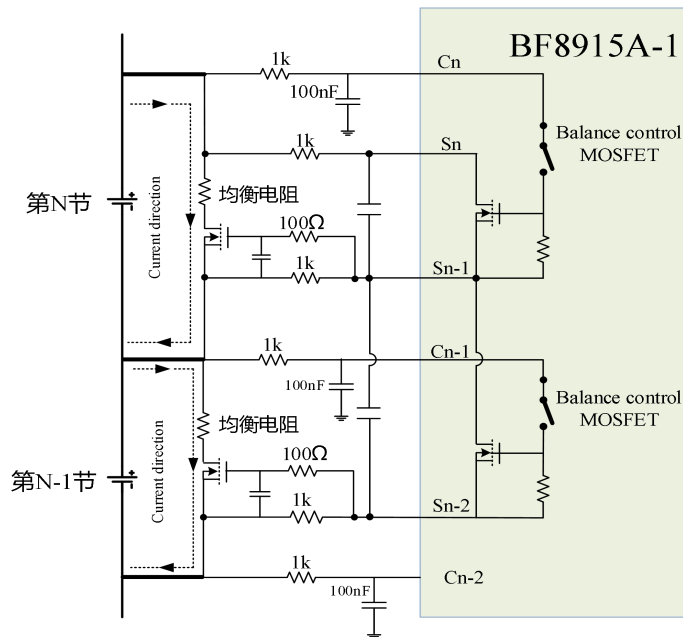


图 10.7 外部均衡电路

10.6 断线检测

断线检测包括 C 端电池电压采集通道断线检测和 GPIO 采集通道断线检测，断线检测是电池管理系统的一项重要安全功能。

10.6.1 C 端电池电压采集通道断线检测方法 1

判断奇数通道是否断线：(n 取值范围 1~15)

1. 打开奇数通道均衡，该奇数通道的电压值小于 800mV；
2. 打开奇数通道均衡，该奇数通道加 1 的偶数通道电压值大于 4800mV；
3. 同时满足步骤 1,2 两个条件时，判定该奇数通道断线。

判断偶数通道是否断线：(n 取值范围 1~15)

1. 打开偶数通道均衡，该偶数通道的电压值小于 800mV；
2. 打开偶数通道均衡，该偶数通道加 1 的奇数通道电压值大于 4800mV；
3. 同时满足步骤 1,2 两个条件时，判定该偶数通道断线。

判断 C0/C16 通道断线：

1. 当关闭均衡时，CELL1 电压小于 50mV，开启偶数通道均衡，CELL1 电压小于 800mV，判定 C0 断线；
2. 当关闭均衡时，CELL16 电压小于 50mV，开启偶数通道均衡，CELL16 电压小于 800mV，判定 C16 断线。

C 端电池电压采样通道断线检测原理如图 10.8 所示。

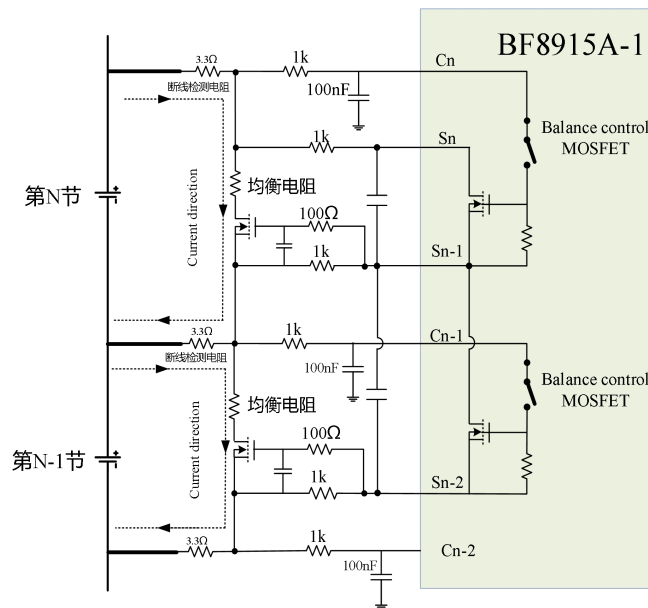


图 10.8 C 端电池电压采样通道断线检测原理

10.6.2 C 端电池电压采集通道断线检测方法 2

1、原理

发送 ADCOW 指令，芯片内部的 C 通道之间的开关闭合，并且采集 C 通道的电压，外部电容的电荷通过内部 32k 电阻释放。C 端电池电压采样通道断线检测原理如图 10.9 所示。

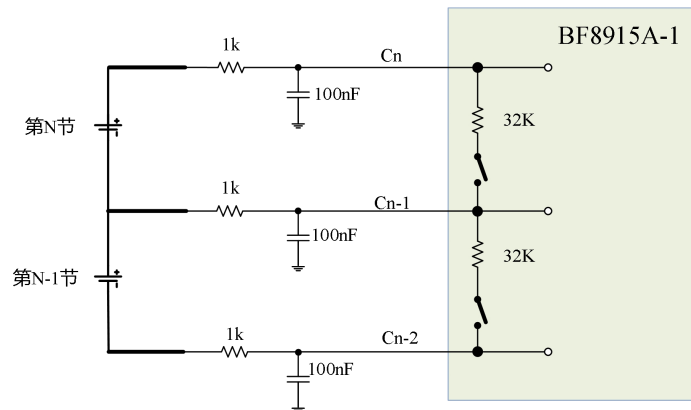


图 10.9 C 端电池电压采样通道断线检测原理

2、 步骤

(1) 发送 ADCOW 指令(配置:ADC 时钟采样频率:0.5M;ADC 过采样率:4096),读取 ADCOW 电池电压值。

(2) 发送 ADCV 指令(配置:ADC 时钟采样频率:4M;ADC 过采样率:64),读取 ADCV 电池电压值。

(3) 断线检测因子: $K_n = \text{ADCOW} / \text{ADCV}$ ($n: 0 \sim 15$)

3、 每个通道断线判断情况: (16 节电池为例, 判断顺序严格按照文档给出顺序)

(1) 芯片 Cell_0 判断方法: (最低节)

当 Cell_1 的 $k_0=1$, 判定 Cell_0 断线。

(2) 芯片 Cell_1 判断方法:

a、 Cell_2 的 $k_1 \geq 1$, 判定 Cell_1 断线。

b、 Cell_1 的 $k_0 < 0.85$, 判定 Cell_1 断线。

(3) 芯片 Cell_8 的判断方法:

a、 当 Cell_7 的 ADCV 电压值大于 4900mV 且 Cell_9 的 ADCV 电压值大于 4900mV 且 Cell_9 的 $k_8 < 0.5$, 此时认为 Cell_8, 没有断线。

b、 Cell_8 的 $1.5 < k_7 < 2$ 且 Cell_9 的 $k_8 < 0.7$, 判定 Cell_8 断线。

c、 $k_6 < 0.6$ 且 $k_8 < 0.6$ 且 $k_9 > 1.3$, 不断线。

d、 $k_6 < 0.6$ 且 $k_8 < 0.63$, 判断为断线。

e、 $k_6 < 0.6$ 且 $k_8 < 0.75$ 且 $k_7 > 3.3$ 。

f、 $k_6 < 0.6$ 且 $k_7 > 2$, 不断线。

g、 Cell_8 的 $k_7 > 2.4$, 判定 Cell_8 断线。

(4) 芯片 Cell_9 的判断方法:



- a、 $k_7 > 1$ 且 $k_9 > 1$ ，判断为断线。
 - b、 $k_7 > 1.4$ 且 $k_7 < 2$ 且 $k_8 < 0.52$ ，不断线。
 - c、 Cell_9 的 $k_8 < 0.52$ ，判定 Cell_9 断线。
- (5) 芯片 Cell_10 的判断方法：
- a、 Cell_10 的 ADCV 电压值 $> 4900\text{mV}$ 且 Cell_10 的 $k_9 < 0.7$ ，判定断线。
 - b、 Cell_9 的 ADCV 电压值 $> 4900\text{mV}$ 且 Cell_10 的 $k_9 < 0.85$ ，判定没有断线。
 - c、 Cell_10 的 $k_9 < 0.7$ ，判定断线。
- (6) 芯片 Cell_16 判断方法: (最高节)
- 当 Cell_16 的 $k_{15} = 0$ 或 $k_{15} = 1$ ，判定断线。
- (7) 芯片其他通道断线， $k_n < 0.85$ 或 $k_n = 1$ 。

10.6.3 GPIO 采集通道断线检测

GPIO 可做模拟输入或者数字输入，作为模拟输入可以用作温度监测，监测电池包以及板级温度变化，保障系统在正常工作温度范围，避免因为温度过高而发生安全事故，因而 GPIO 断线检测也是一项不可或缺的功能。GPIO 温度检测电路见图 10.2 所示。

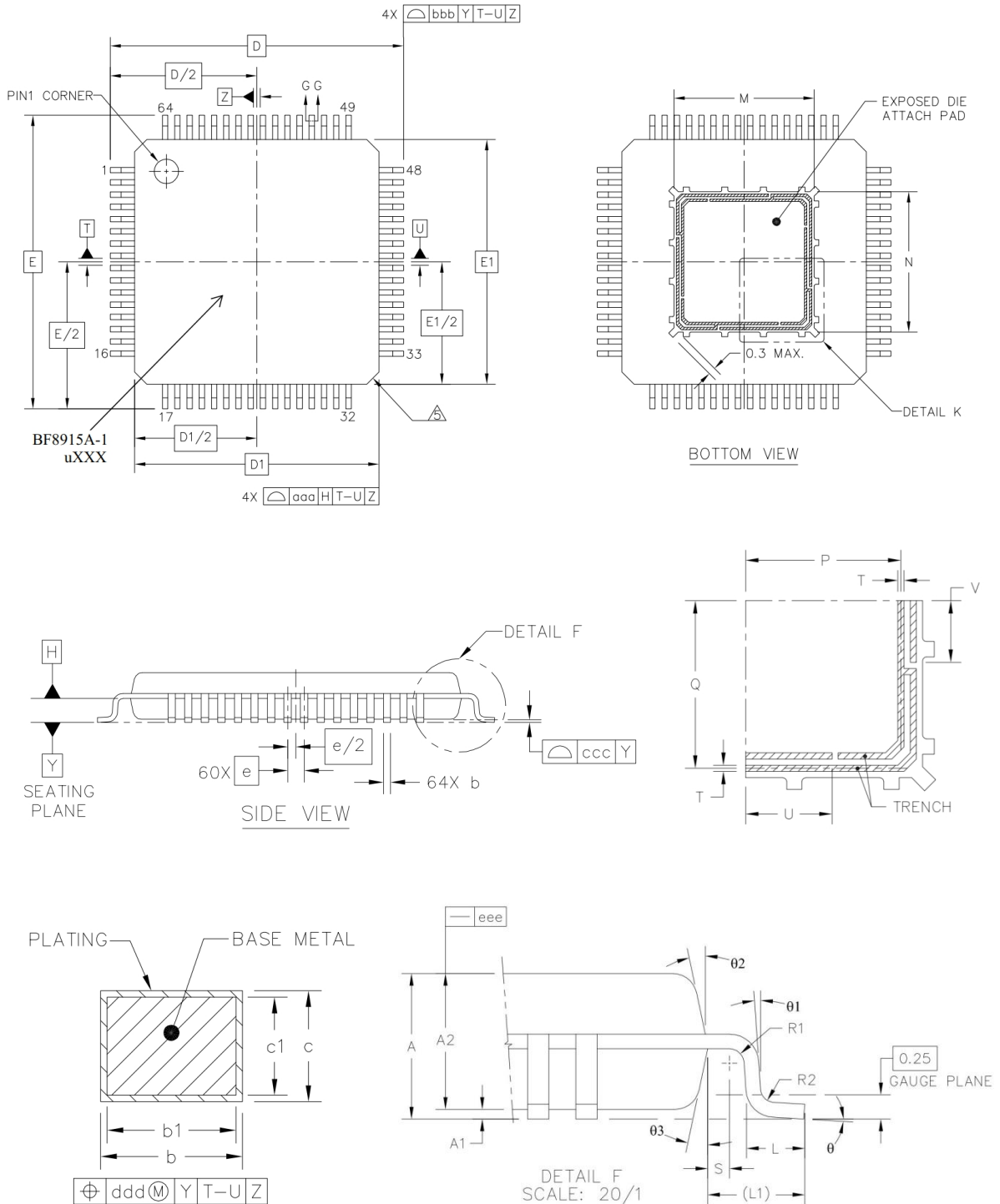
GPIO 采集通道断线检测判断方法：

1. 发送 ADGP 指令，记录 VGPIOn 数据；
2. 当 $\text{VGPIOn} + 50\text{mV} > \text{VD33T}$ 时，判断 GPIO(n)断线。

注：n 取值范围 0~7，NTC 温度范围 $-40^\circ\text{C} \sim 150^\circ\text{C}$ ，对应阻值变化范围：196k~300R。

第十一章 封装信息

11.1 封装一（64 引脚 eLQFP 封装）（BF8915A-1 uXXX）



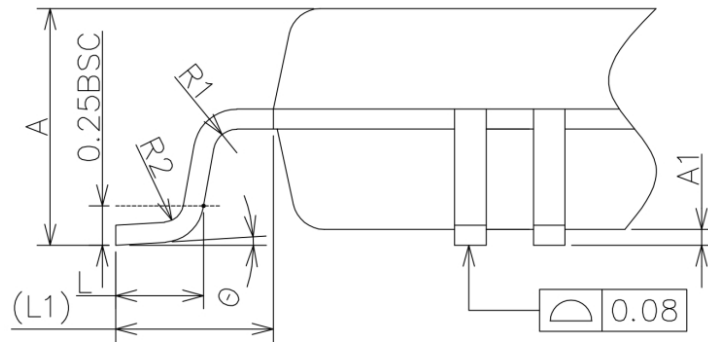
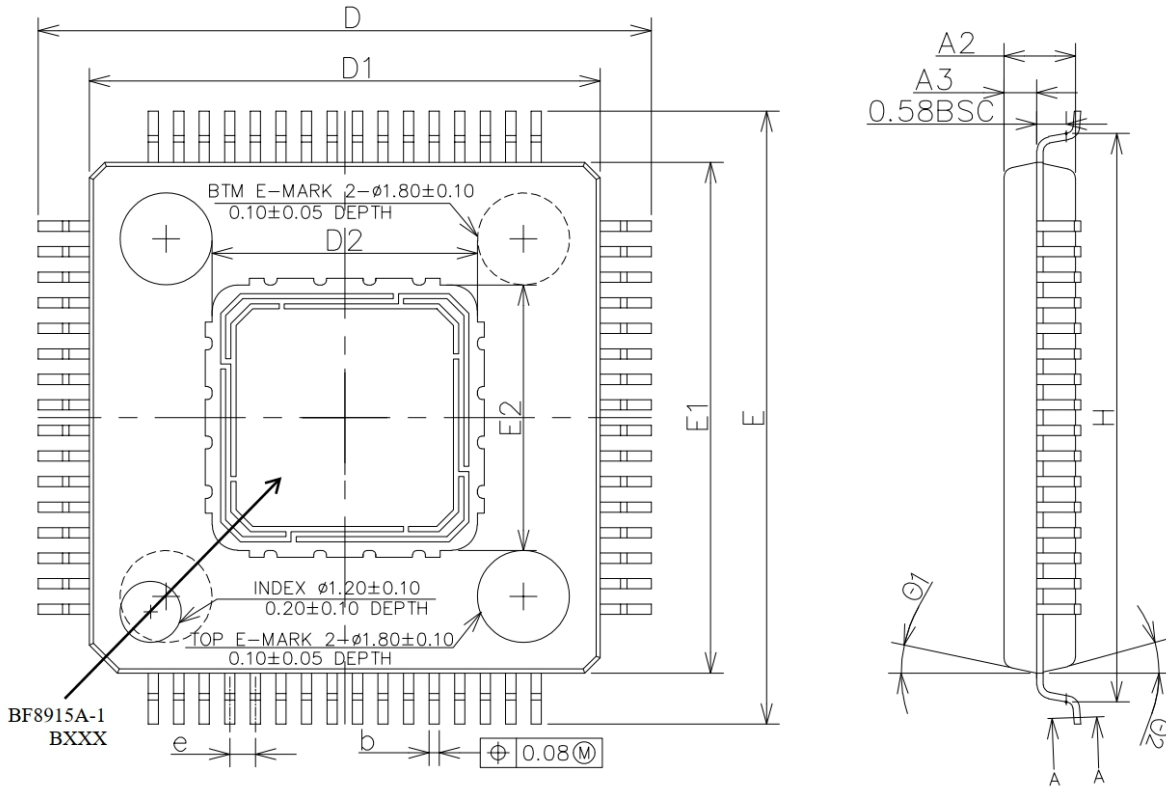


COMMON DIMENSIONS
(UNITS OF MEASURE = MILLIMETER)

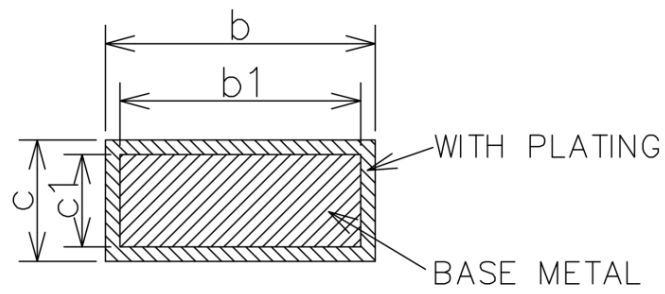
		SYMBOL		MIN	NOR	MAX
TOTAL THICKNESS		A		---	---	1.6
STAND OFF		A1		0.05	---	0.15
MOLD THICKNESS		A2		1.35	1.4	1.45
LEAD WIDTH (PLATING)		b		0.17	0.22	0.27
LEAD WIDTH		b1		0.17	0.2	0.23
L/F THICKNESS (PLATING)		c		0.09	---	0.2
L/F THICKNESS		c1		0.09	---	0.16
		X	D	12BSC		
		Y	E	12BSC		
BODY SIZE		X	D1	10BSC		
		Y	E1	10BSC		
LEAD PITCH		e		0.5BSC		
		L		0.45	0.6	0.75
FOOTPRINT		L1		1 REF		
		Ø		0	3.5	7
		Ø1		0	---	---
		Ø2		11	12	13
		Ø3		11	12	13
		R1		0.08	---	---
		R2		0.08	---	0.2
		S		0.2	---	---
EP SIZE		X	M	5.64	5.74	5.84
		Y	N	5.64	5.74	5.84
		P		2.47	2.52	2.57
		Q		2.67	2.72	2.77
		T		0.05	---	0.15
		U		1.35	---	1.45
		V		0.95	---	1.05
PACKAGE EDGE TOLERANCE		aaa		0.2		
LEAD EDGE TOLERANCE		bbb		0.2		
COPLANARITY		ccc		0.08		
LEAD OFFSET		ddd		0.08		
MOLD FLATNESS		eee		0.05		



11.2 封装二（64 引脚 eLQFP 封装）（BF8915A-1 BXXX）



LEAD FORM PART



SECTION A-A



COMMON DIMENSIONS
(UNITS OF MEASURE = MILLIMETER)

SYMBOL	MIN	NOM	MAX
A	---	---	1.60
A1	0.05	---	0.15
A2	1.35	1.40	1.45
A3	0.59	0.64	0.69
b	0.18	---	0.27
b1	0.17	0.20	0.23
c	0.13	---	0.18
c1	0.117	0.127	0.137
D	11.95	12.00	12.05
D1	9.90	10.00	10.10
D2	5.20REF		
E	11.95	12.00	12.05
E1	9.90	10.00	10.10
E2	5.20REF		
e	0.40	0.50	0.60
H	11.09	11.13	11.17
L	0.53	---	0.70
L1	1.00REF		
R1	0.15REF		
R2	0.13REF		
θ1	0°	3.5°	7°
θ2	11°	12°	13°
θ3	11°	12°	13°

注：芯片的两种封装设计可以相互兼容，芯片的参考应用设计基于封装一。



改版记录

改版日期	改版内容	改版人	备注
2021-02-12	初版	谢喜克/ 李杰	V1.0
2021-05-19	1.菊花链 SPI 通信电路驱动电流和阈值电压选择引脚 T1/T2 更改为 ICOM/VCOM; 2.增加第十一章的应用信息: 通信电路、均衡电路和断线检测。	谢喜克/ 李杰	V1.1
2021-06-14	1. 更改芯片架构基准电压 VREF 输入; 2. 更改 C 端电池电压采集通道断线检测方法。	谢喜克/ 李杰	V1.2
2021-09-26	1.删除 MTP 存储章节; 2.增添并细化 GPIO 端口温度检测原理以及公式。	谢喜克/ 李杰	V1.3
2021-12-13	1. 更改芯片 DC 参数特性 2. 固定 ADC 工作频率 2M 3. 删除 ADCVVH 指令 4. 更改操作指令章节	谢喜克/ 李杰	V1.4
2022-3-11	1. 更改标准四线 SPI 通信外部连接; 2. 更改 C 端电池电压采集通道断线检测方法; 3. 添加 ADCOW 指令;	陈咏成	V1.5
2022-4-1	1、最大额定参数(S 通道输入电压、S 通道输入之间的电压); 2、ADC 测量初始化时间推荐配置;	陈咏成/ 李杰	V1.5B
2022-6-2	1、增加封装二	林华华	V1.6
2022-9-2	1. 更新操作指令章节 2. 更新寄存器指令章节 3. 删除级联数量上限	陈咏成/ 李标玉	V1.7



免责声明

- 1、此文档中的信息可以在不通知用户进行不定期勘误修改及版本更新，详细见改版记录，最新版本请联系 FAE 或代理商索取。
- 2、公司将竭尽最大的努力保证本公司产品的高质量与高稳定性。尽管如此，由于一般半导体器件的电气敏感性及易受到外部物理伤害等固有特点，本公司产品有可能在这些情况下出现故障或失效。当使用本公司产品时，使用者有责任遵从安全规则来设计一个安全及稳定的系统环境。使用者可通过去除多余器件、故障预防及火灾预防等措施来避免可能发生的意外、火灾及公共伤害。在用户使用该产品时，请遵从本公司最新说明书上规定的操作步骤来使用该产品。