

适用于高压电池包的电流、 电压和电荷监控器

特点

- 测量电池包电压、电流和功率
- 指示累计电池电量和电能
- 20 位电流测量，失调小于 $1\mu\text{V}$
- 内置隔离式 isoSPI™ 或 SPI 接口
- 兼容 LTC68xx/ADBMS68xx，支持利用电池监控器进行同步测量
- 多达 12 路缓冲电压测量输入
- 多达 5 个 GPO，可配置用来驱动地、电源或以 400kHz 速率切换
- 高端或低端电流检测
- 电流和电压精度：0.3%
- 电能和电荷精度：1%
- 真平均 ADC
- I²C EEPROM 接口，可存储板校准系数
- 所有测量量都有阈值寄存器
- 设计用于 ISO26262 兼容系统
- 输入引脚开路检测
- 提供 48 引脚 LQFP 封装
- 通过 AEC-Q100 汽车应用认证

应用

- 电动和混合动力车辆
- 隔离电流检测
- 备用电池系统
- 高功率便携式设备

说明

LTC®2949 是一款高精度电流、电压、温度、电荷和电能计量器件，适用于电动和混合动力车辆及其他隔离电流检测应用。它通过同时监控最多两个检测电阻上的压降和电池包电压，推断出流入流出电池包的电荷和电能。

低失调 $\Delta\Sigma$ ADC 确保电压和电流得到准确测量，而功率损失微不足道。电流和功率的连续积分可确保对电池包传送或接收的电荷和电能进行无损跟踪。

内置串行接口可配置来支持与主机进行隔离 isoSPI 通信，或配置为 SPI 接口。

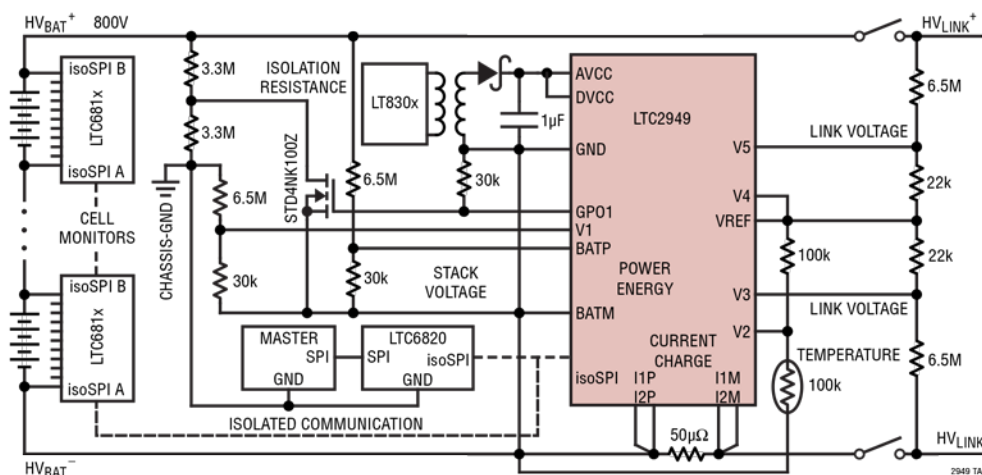
LTC2949 具有 12 路内部缓冲高阻抗输入 (V1 至 V12)，用于测量来自外部传感器或电阻分压器的电压，从而支持测量温度、HV-Link 电压、机壳隔离性能和监视接触器状态。LTC2949 具有多达 5 路可编程数字输出，可将其设置为地、电源或以 400kHz 频率切换。

可编程阈值和跟踪寄存器可减少到主机的数字流量。

所有注册商标和商标均属各自所有人所有。

典型应用

电动车辆电池计量



目录

特点	1
应用	1
典型应用	1
说明	1
绝对最大额定值	3
订购信息	3
引脚配置	3
电气特性	4
典型性能参数	10
引脚功能	12
引脚功能	13
框图	14
操作	15
概述	15
工作模式	16
数据采集通道	17
功率测量	20
电荷、电能和时间	21
过流比较器	22
串行接口	23
串行接口概述	23
4 线式串行外设接口 (SPI) 物理层	23
2 线式隔离接口 (isoSPI) 物理层	24
数据链接层	29
网络层	29
寄存器映射	42
寄存器说明	43
存储器映射和分页机制	43
寄存器映射 PAGE0	45
寄存器映射 PAGE1	63
温度测量	69
应用信息	69
检测电阻温度补偿	70
电流和电压输入滤波	75
为 LTC2949 供电	76
封装说明	79
典型应用	80
相关器件	80

绝对最大额定值

(注释 1、2)

电源引脚

AVCC 至 AGND	–0.3V 至 14.5V
DVCC 至 DGND	–0.3V 至 14.5V
AVCC 至 DVCC	–0.1V 至 0.1V
DGND 至 AGND	–0.1V 至 0.1V

模拟引脚

I1P、I1M、I2P、I2M	–0.3V 至 $V_{AVCC} + 0.3V$
I1P 至 I1M, I2P 至 I2M	$\pm 1V$
VBATP、VBATM	–0.3V 至 $V_{AVCC} + 0.3V$
V1-V12	–0.3V 至 $V_{AVCC} + 0.3V$
CLKO、DNC	(注释 3)

数字输入/输出引脚

IOVCC、CLKI、CSB(IM)、SCK(IP)...	–0.3V 至 5V
SDI (ICMP)、SDO (IBIAS)	–0.3V 至 5V
SDA、SCL	–0.3V 至 2.75V

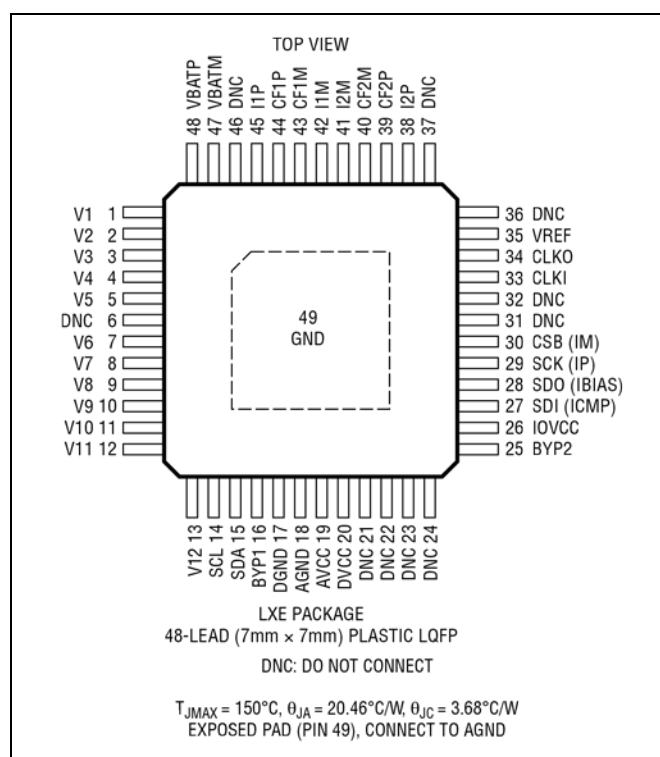
流入/流出引脚的电流

IP、IM	$\pm 30mA$
SDO (IBIAS)	$\pm 10mA$
V8-V12	$\pm 2mA$
VREF (注释 4)	$\pm 2mA$
BYP1 (注释 4)	–10mA 至 0mA
BYP2 (注释 4)	–10mA 至 0mA

工作环境温度范围

LTC2949I	–40°C 至 85°C
LTC2949H	–40°C 至 125°C
存储温度范围	–65°C 至 150°C

引脚配置



订购信息

汽车应用产品**

托盘 (250PC)	卷带和卷盘 (2000PC)	器件标识*	封装说明	MSL 额定值	温度范围
LTC2949ILXE#3ZZPBF	LTC2949ILXE#3ZZTRPBF	LTC2949LXE	48 引脚塑料 eLQFP	3	–40°C 至 85°C
LTC2949HLXE#3ZZPBF	LTC2949HLXE#3ZZTRPBF	LTC2949LXE	48 引脚塑料 eLQFP	3	–40°C 至 125°C

关于具有更宽额定工作温度范围的器件，请联系工厂。*温度等级通过运输容器上的标签识别。

卷带和卷盘规格。某些封装以 500 单元卷盘形式通过指定销售渠道提供，其带有 #TRMPBF 后缀。

**该器件的某些版本的生产工艺受到严格控制，以满足汽车应用的质量和可靠性要求。这些型号带有 #3ZZ 后缀。只有显示为汽车应用级的产品才能用于汽车应用。欲了解特定产品的订购信息并获得这些型号的汽车可靠性报告，请联系当地 ADI 公司的客户代表。

电气特性

● 表示规格适用于整个工作温度范围，其他规格的适用温度为 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 。

符号	参数	条件		最小值	典型值	最大值	单位
电源							
V_{AVCC}	模拟电源电压		●	4.5		14	V
V_{DVCC}	数字电源电压		●	4.5		14	V
V_{UVLO}	电源欠压闭锁阈值	V_{AVCC} 、 V_{DVCC} 下降	●			4.5	V
I_{CC}	流入 $AVCC$ 和 $DVCC$ 的平均电源电流	内核状态: STANDBY 或 MEASURE	●		16	20	mA
		内核状态: SLEEP			8	15	μA
		内核状态: SLEEP	●			150	μA
	附加 $DVCC$ 电源电流 (如果 isoSPI 处于 READY/ACTIVE 状态) 注释: ACTIVE 状态电流假定 $t_{CLK} = 1\mu\text{s}$ (注释 5)	$R_{B1} + R_{B2} = 2\text{k}$	READY	●	4.8	5.8	mA
			ACTIVE	●	6.1	7.8	mA
		$R_{B1} + R_{B2} = 20\text{k}$	READY	●	2.1	3	mA
			ACTIVE	●	2.5	3.5	mA
V_{BYP1}	BYP1 调节输出电压		●	2.25	2.5	2.75	V
	BYP1 负载电流		●	-10		0	mA
	BYP1 负载调整率误差	$I_{LOAD} = -10\text{mA}$	●	-15		0	mV
	BYP1 欠压闭锁阈值		●			2.25	V
V_{BYP2}	BYP2 调节输出电压		●	3	3.25	3.6	V
	BYP2 负载电流		●	-10		0	mA
	BYP2 负载调整率误差	$I_{LOAD} = -10\text{mA}$	●	-60			mV
	热关断温度				170		$^\circ\text{C}$
电流检测 ADC							
	分辨率 (无失码)	慢速模式滤波 (注释 7)	●	20			Bit
		慢速模式 (注释 7)	●	18			Bit
		快速模式 (注释 7)	●	15			Bit
	满量程差分输入电压	$V_{I1P}-V_{I1M}$, $V_{I2P}-V_{I2M}$			± 124		mV
$VDIF_I$	差分输入电压范围	$V_{I1P}-V_{I1M}$, $V_{I2P}-V_{I2M}$	●			± 110	mV
	I1P、I1M、I2P、I2M 的引脚电压		●	-0.11		$V_{AVCC}+0.11$	V
	电流检测量化步骤	慢速模式滤波			237.5		nV
		慢速模式			950		nV
		快速模式			7.60371		μV
$CFPx$	CF1P、CF1M、I1P、I1M、CF2P、CF2M、I2P、I2M 处的输入漏电流	内核状态 = SLEEP/STANDBY	●			40	nA
	CF1P 至 CF1M、CF2P 至 CF2M 的差分输入电流	内核状态: MEASURE; 引脚电压: $0\text{V} \leq V_{CF1P}$ 、 V_{CF1M} 、 V_{I1P} 、 V_{I1M} 、 V_{CF2P} 、 V_{CF2M} 、 V_{I2P} 、 $V_{I2M} \leq V_{AVCC}$			$VDIF_I/100\text{k}\Omega$		μA
	噪声	慢速模式滤波			160		nV_{RMS}
		慢速模式			320		nV_{RMS}
		快速模式			3		μV_{RMS}
	增益误差	$ VDIF_I \leq 110\text{mV}$				0.15	%
			●			0.3	%
	失调电压	I_{ADCx} 、 I_{xP} 、 $I_{xM} = 0\text{V}$ $V_{AVCC} = V_{DVCC} = 5\text{V}$	慢速模式	●	0	± 1	μV
			快速模式	●	0	± 2	μV
	总非调整误差	$ VDIF_I \geq 25\text{mV}$	●			0.3	%

电气特性

● 表示规格适用于整个工作温度范围，其他规格的适用温度为 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 。

符号	参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
	直流输入电压共模抑制		●	100		dB
	输入采样频率			10.48		MHz
	转换时间	慢速模式滤波		400		ms
		慢速模式		100		ms
		快速模式	●	0.782	0.8211	ms

功率 ADC 的电压测量

	分辨率 (无失码)	慢速模式 (注释 7)	●	18		位
		快速模式 (注释 7)	●	15		位
VFS_V	满量程差分输入电压	$V_{VBATP} - V_{VBATM}$		± 6.14		V
$VDIF_V$	差分输入电压范围	$V_{VBATP} - V_{VBATM}$	●		± 4.8	V
	VBATP、VBATM 引脚电压	$V_{AVCC} \geq 5V$	●	-0.1	$V_{AVCC} + 0.1$	V
		$V_{AVCC} < 5V$	●	-0.1	$V_{AVCC} - 1.5$	V
LSB_V	差分输入电压量化步骤	慢速模式		46.875		μV
		快速模式		375.183		μV
	输入漏电流	内核状态: SLEEP/STANDBY	●		10	nA
	差分输入电阻	内核状态: MEASURE; 引脚电压 $0V \leq V_{BATP}, V_{BATM} \leq V_{AVCC}$		50		$M\Omega$
			●	20		$M\Omega$
	增益误差		●		0.3	%
	失调	$V_{BATP} = V_{BATM} = 0V$	●	0	± 3	LSB_V
	电压总非调整误差	$1V \leq VDIF_V \leq 4.8V$	●		0.4	%
	直流输入电压共模抑制		●	80		dB
	噪声	慢速模式 (注释 7)		3		μV_{RMS}
		快速模式 (注释 7)		30		μV_{RMS}
	输入采样速率			5.24		MHz
	转换时间	慢速模式		100		ms
		快速模式	●	0.782	0.8211	ms

功率 ADC 的功率测量

	分辨率 (无失码)	慢速模式 (注释 7)	●	18		Bit
		快速模式 (注释 7)	●	11		Bit
FS_P	满量程功率	$FS_P = VFS_V \cdot VFS_V / R_{ISENSE} / VDIF_V$		± 0.76504		$[V^2/\Omega]$
LSB_P	功率量化步骤	$LSB_P = FS_P / 2^{17}$		5.8368		$\mu [V^2/\Omega]$
POS	功率失调	$VDIF_1 = 0$		1		LSB_P
TUE_P	功率总非调整误差	$1V \leq VDIF_V \leq 4.8V, 25mV \leq VDIF_I \leq 110mV$	●		0.9	%
	均方根噪声	慢速模式; $V_{BATP} - V_{BATM} = 4.8V$ (注释 7)		0.3		LSB_P
		慢速模式; $V_{BATP} - V_{BATM} = 0V$ (注释 7)		0.03		LSB_P
	输入采样频率			5.24		MHz
	功率调制频率			5.24		MHz
	转换时间	慢速模式		100		ms
		快速模式	●	0.782	0.8211	ms

电气特性

● 表示规格适用于整个工作温度范围，其他规格的适用温度为 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 。

符号	参数	条件		最小值	典型值	最大值	单位
电能计量							
TUE _E	电能总非调整误差	1V ≤ VDIF _V ≤ 4.8V, 25mV ≤ VDIF _I ≤ 110mV, 理想外部时钟或 4MHz 晶振	●			0.9	%
		1V ≤ VDIF _V ≤ 4.8V, 25mV ≤ VDIF _I ≤ 110mV, 内部时钟	●			1.9	%
Charge Measurement							
TUE _C	电荷总非调整误差	1V ≤ VDIF _V ≤ 4.8V, 25mV ≤ VDIF _I ≤ 110mV, 理想外部时钟或 4MHz 晶振	●			0.4	%
		1V ≤ VDIF _V ≤ 4.8V, 25mV ≤ VDIF _I ≤ 110mV, 内部时钟	●			1.4	%
辅助 ADC 的电压测量							
	分辨率 (无失码)	(注释 7)	●			15	Bit
VFS _V	满量程差分输入电压	V _{VBATP} − V _{VBATM} , V _{MUXP} − V _{MUXN}				±6.14	V
VDIF _{AUX}	差分输入电压范围	V _{VBATP} − V _{VBATM} , V _{MUXP} − V _{MUXN}	●			±4.8	V
	引脚电压 — VBATP、VBATM、V1 − V12、CF1P、CF1M、CF2P、CF2M	V _{AVCC} ≥ 5V	●			−0.1 V _{AVCC} +0.1	V
		V _{AVCC} < 5V	●			−0.1 V _{AVCC} −1.5	V
LSB _V	差分电压量化步骤	慢速模式				375	μV
		快速模式				375.183	μV
	输入漏电流		●			1 10	nA
	差分输入电阻		●			40	MΩ
	增益误差	VDIF _{AUX} ≤ 4.8V	●			0.3	%
	失调	V _{BATP} = V _{BATM} = 0V	●			0 ±1	LSB _V
	总非调整误差	1V ≤ VDIF _V ≤ 4.8V	●			0.4	%
	直流输入电压共模抑制		●			80	dB
	采样速率					5.24	MHz
	转换时间		●			0.782 0.8211	ms
辅助 ADC 的片上温度测量							
	分辨率 (无失码)	(注释 7)	●			13	Bit
	满量程温度					819.2	K
ΔT _{LSB}	温度量化步骤					0.2	K
	总非调整误差					±3	K
	转换时间					13.1	ms
	自发热					20	K/W
辅助 ADC 的电源电压测量							
	分辨率 (无失码)	(注释 7)	●			14	位
	满量程差分输入电压					18.43	V
	A/DVCC 测量量化步骤					2.2583	mV
	总非调整误差		●			2 ±5	%
	转换时间					6.55	ms
AUX MUX							
	信号范围		●			−0.1 V _{AVCC} +0.1	V

电气特性

● 表示规格适用于整个工作温度范围，其他规格的适用温度为 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 。

符号	参数	条件		最小值	典型值	最大值	单位
	上拉电流源	引脚电压 $< V_{AVCC} - 3.0\text{V}$	●		-250	-150	μA
	下拉电流源	引脚电压 $> 2.5\text{V}$	●	200	250		μA

基准电压

VREF	基准电压				3		V
	VREF 误差		●			± 1	%
	VREF 温度系数				7		ppm/K
	VREF 长期漂移				80		ppm/ $\sqrt{\text{kHr}}$
	VREF 负载调整率误差	$-0.5\text{mA} \leq I_{\text{LOAD}} \leq 0.5\text{mA}$	●	-5		0	mV
VREF2	内部冗余基准电压				2.39		V
	VREF2 误差		●			± 0.85	%
	VREF2 温度系数				10		ppm/K
	VREF2 的长期漂移				80		ppm/ $\sqrt{\text{kHr}}$

过流比较器

	I1P、I1M、I2P、I2M 引脚电压		●	-0.11		$V_{AVCC} + 0.11$	V
	总非调整误差	$ V_{\text{thr}} \leq 103\text{mV}$	●			± 5	mV
		$ V_{\text{thr}} > 103\text{mV}$	●			± 10	mV
		$ V_{\text{thr}} = 310\text{mV}$	●			± 20	mV
	可编程去毛刺时间延迟	$T_{\text{degl}} 20、80、320\mu\text{s}$	●	$T_{\text{degl}} - 10$		$T_{\text{degl}} + 37$	μs
		$T_{\text{degl}} 1280\mu\text{s}$	●	$T_{\text{degl}} - 26$		$T_{\text{degl}} + 56$	μs

数字输入 CLKI

	逻辑输入阈值		●	0.4		2	V
	输入电流直流电流		●			± 1	μA
	输入电容	(注释 7)	●			10	pF
	外部时钟频率		●	0.01		25	MHz

通用输出 GPIOx

	GPIOx 的低电平输出电压	$I_{\text{GPIOx}} = 0.5\text{mA}$	●			0.4	V
	GPIOx 的高电平输出电压	$I_{\text{GPIOx}} = -0.25\text{mA}$	●	$V_{\text{DVCC}} - 0.5$			V
	GPIOx 切换频率		●	370	400	430	kHz

SPI 接口直流规格 IOVCC、CSB、SCK、SDI、SDO

V_{IOVCC}	SPI 模式 IOVCC 工作电压		●	1.8		4.5	V
	引脚电压 CSB、SCK、SDI、SDO		●			V_{IOVCC}	V
	逻辑输入阈值 (CSB、SCK、SDI)		●	$0.3 \cdot V_{\text{IOVCC}}$		$0.7 \cdot V_{\text{IOVCC}}$	V
	直流输入电流 (CSB、SCK、SDI)		●			± 1	μA
	输入电容 (CSB、SCK、SDI)	(注释 7)	●			10	pF
	SDO 的低电平输出电压	$V_{\text{IOVCC}} \geq 3.3\text{V}, I_{\text{SDO}} = 3\text{mA}, 1.8\text{V} \leq V_{\text{IOVCC}} \leq 3.3\text{V}, I_{\text{SDO}} = 1\text{mA}$	●			0.4	V

SPI 时序要求 (参见图 7)

t_{CLK}	SCK 周期	(注释 6)	●	1			μs
t_1	SCK 上升沿之前的 SDI 建立时间		●	25			ns
t_2	SCK 上升沿之后的 SDI 保持时间		●	25			ns

电气特性

● 表示规格适用于整个工作温度范围，其他规格的适用温度为 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 。

符号	参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
t_3	SCK 低电平	$t_{\text{CLK}} = t_3 + t_4 \geq 1\mu\text{s}$	● 200			ns
t_4	SCK 高电平	$t_{\text{CLK}} = t_3 + t_4 \geq 1\mu\text{s}$	● 200			ns
t_5	CSB 上升沿至 CSB 下降沿		● 0.65			μs
t_6	SCK 上升沿至 CSB 上升沿	(注释 6)	● 0.8			μs
t_7	CSB 下降沿至 SCK 上升沿	(注释 6)	● 1			μs
t_8	SCK 下降沿至 SDO 有效	(注释 9), $\text{VIOVCC} \geq 3.3\text{V}$	●		60	ns
		(注释 9), $\text{VIOVCC} < 3.3\text{V}$	●		150	ns

isoSPI 直流规格 (参见图 10)

	用以选择 isoSPI 的 IOVCC 电压		●		0.5	V	
V _{IBIAS}	IBIAS 引脚电压	READY/ACTIVE 状态	●	1.9	2	2.1	V
		IDLE			0		V
I _B	隔离接口偏置电流	R _{BIAS} = 2kΩ 至 20kΩ	●	0.1		1	mA
A _{IB}	隔离接口电流增益	V _A ≤ 1V, I _B = 1mA	●	18	20	22	mA/mA
		I _B = 0.1mA	●	17	20	24.5	mA/mA
V _A	发送器脉冲幅度	V _A = V _{IP} - V _{IM}	●			1.5	V
V _{ICMP}	ICMP 引脚的阈值设置电压	V _{TCMP} = A _{ITCMP} • V _{ICMP}	●	0.2		1.5	V
	ICMP 引脚的输入漏电流	V _{ICMP} = 0V 至 V _{BYP2}	●			±1	μA
	IP 和 IM 引脚的漏电流	IDLE 状态, V _{IP} 或 V _{IM} = 0V 至 V _{BYP2}	●			±1	μA
A _{TCMP}	接收器比较器阈值电压增益	V _{CM} = V _{BYP2} /2 至 V _{BYP2} - 0.2V, V _{ICM} = 0.2V 至 1.5V	●	0.4	0.5	0.6	V/V
V _{CM}	接收器共模偏置	IP、IM 不驱动			V _{BYP2} - V _{ICMP} /3 - 167mV		V
	接收器输入电阻	单端至 IP、IM	●	27	35	43	kΩ

isoSPI IDLE/WAKE-UP 规格 (参见图 3)

V_{WAKE}	差分唤醒电压	$t_{\text{DWELL}} = 240\text{ns}$	●	200			mV
t_{DWELL}	唤醒检测之前的 V_{WAKE} 驻留时间	$V_{\text{WAKE}} = 200\text{mV}$	●	240			ns
t_{READY}	唤醒检测之后的启动时间		●			10	μs
t_{IDLE}	空闲超时持续时间		●	4.3	6.4	6.7	ms

isoSPI 脉冲时序规格 (参见图 10、11)

$t_{\text{FILT(CS)}}$	片选信号滤波器	接收器	●	70	90	115	ns
$t_{\text{WNDW(CS)}}$	片选有效脉冲窗口	接收器	●	220	270	330	ns
$t_{1/2\text{PW(D)}}$	数据半脉冲宽度	发送器	●	40	50	60	ns
$t_{\text{FILT(D)}}$	数据信号滤波器	接收器	●	10	25	35	ns
$t_{\text{INV(D)}}$	数据脉冲反相延迟	发送器	●	40	55	69	ns
$t_{\text{WNDW(D)}}$	数据有效脉冲窗口	接收器	●	70	90	110	ns
t_{RTN}	数据返回延迟		●		485	625	ns

I²C 接口直流规格 (SCL、SDA)

	逻辑输入阈值 (SDA)		●	0.9		1.6	V
	直流输入电流 (SDA)		●			± 1	μA
	输入电容 (SDA)	(注释 7)	●			10	pF
	SDA、SCL 的低电平输出电压	$I = 0.5\text{mA}$	●			0.4	V

电气特性

● 表示规格适用于整个工作温度范围，其他规格的适用温度为 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 。

符号	参数	条件		最小值	典型值	最大值	单位
I²C 接口时序规格 (SCL、SDA)							
$f_{\text{SCL(MAX)}}$	最大 SCL 时钟频率		●	8	10		kHz
t_{SCLLO}	SCL 低电平周期		●	80			μs
t_{SDALO}	SDA 低电平周期		●	80			μs
$t_{\text{BUF(MIN)}}$	STOP/START 之间的总线空闲时间		●	30			μs
$t_{\text{SU,STA(MIN)}}$	最小重复 START 建立时间		●	30			μs
$t_{\text{HD,STA(MIN)}}$	最小保持时间 (重复) START 条件		●	30			μs
$t_{\text{SU,STO(MIN)}}$	STOP 条件的最小建立时间		●	30			μs
$t_{\text{SU,DAT(MIN)}}$	最小数据建立时间输入		●	30			μs
$t_{\text{HD,DAT(MIN)}}$	最小数据保持时间输入		●		0		ns
$t_{\text{HD,DATO}}$	最小数据保持时间输出		●	30			μs
t_{OF}	数据输出下降时间	(注释 7、8)	●	20 + $0.1 \cdot C_B$			ns
数字内核时序 (参见图 3)							
t_{BOOT}	内核从 SLEEP 或 POWER-OFF 到 STANDBY 的引导时间	AVCC/DVCC 引脚处于最小工作电压	●		100		ms
$t_{\text{IDLE_CORE}}$	内核 STANDBY 周期时间	(注释 10)	●	17	20		ms
t_{CONT}	内核 MEASURE 周期时间	(注释 11)	●	90	100	110	ms
$t_{\text{MLCK,M}}$	存储器锁定请求至应答时间	内核状态: MEASURE	●		130		ms
$t_{\text{MLCK,S}}$	存储器锁定请求至应答时间	内核状态: STANDBY	●		40		ms
t_{ACKN}	从内核进入 STANDBY 到返回 SLEEP 的时间, 唤醒未确认时	不将 0x0 写入寄存器 WKUPACK, 不将 0x8 写入寄存器 OPCTRL	●	0.6	1.5		s
时基							
TUE_{TB}	TUE 时基	内部时钟			0.5		%
			●		1		%

注释 1: 应力超出上述绝对最大额定值可能会导致器件永久性损坏。在任何绝对最大额定值条件下长期工作会影响器件的可靠性和使用寿命。

注释 2: 正电流流入引脚，负电流流出引脚。最小值和最大值指绝对值。

注释 3: 不要在这些引脚上施加电压或电流源。它们必须根据引脚描述不连接、连接到容性负载或连接到晶振，否则可能会造成永久性损坏。

注释 4: 不要在这些引脚上施加电压源。这些引脚过载可能会中断操作。

注释 5: 有效电源电流 (I_{CC}) 取决于 IP 和 IM 上输出驱动器保持有效的时间。在此期间， I_{CC} 将增加 $20 \cdot I_B$ 驱动电流。对于最大数据速率 1MHz，驱动器大约有 5% 的时间处于活动状态。

注释 6: 这些时序规格取决于通过电缆的延迟，每个方向包括 50ns 的延迟余量。50ns 对应于 10m CAT-5 电缆（其传播速度为光速的 66%）。若使用更长的电缆，这些规格须降额以考虑额外的延迟量。

注释 7: 通过设计和特性保证，但未经生产测试。

注释 8: C_B = 总线一条线的电容，单位为 pf ($10\text{pF} < C_B < 400\text{pF}$)

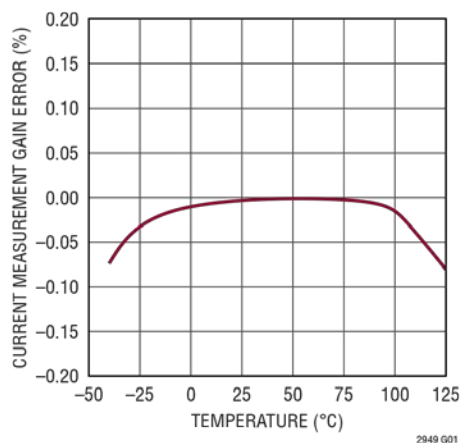
注释 9: 这些规格不包括 SDO 引脚上的上拉电阻和负载电容引起的 SDO 上升时间。

注释 10: STATUS/FAULTS 和 V_{REF} 寄存器更新的周期时间。

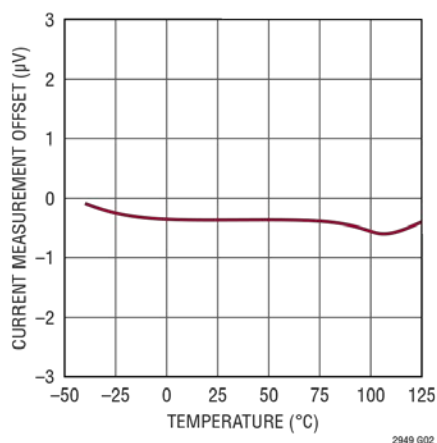
注释 11: 首次更新后，STATUS/ALERT/FAULTS 寄存器和所有慢通道测量结果更新的周期时间。使能任何测量后的第一次更新通常会延迟 50ms。

典型性能参数

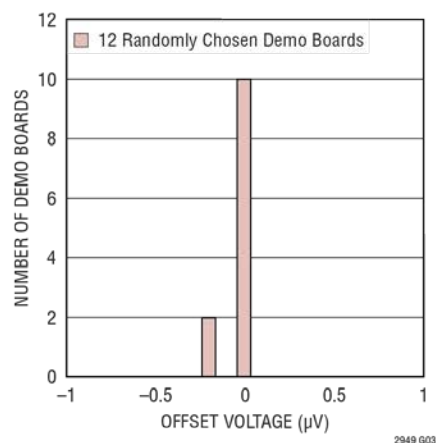
电流测量增益误差与温度的关系



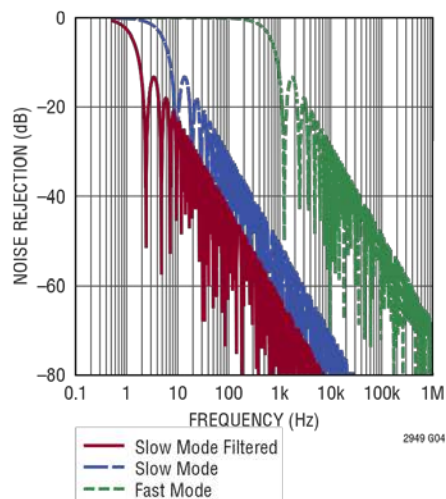
电流测量失调与温度的关系



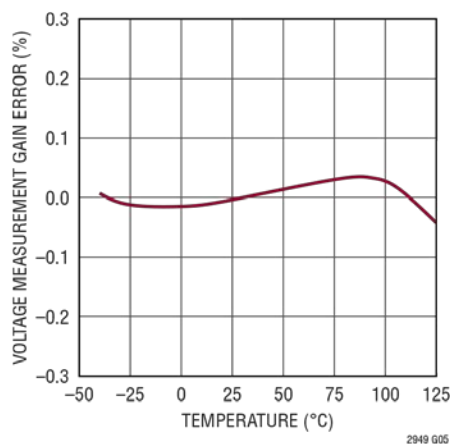
电流测量失调分布



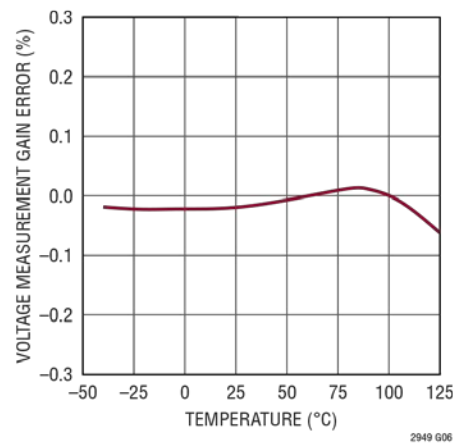
电流测量噪声滤波器响应



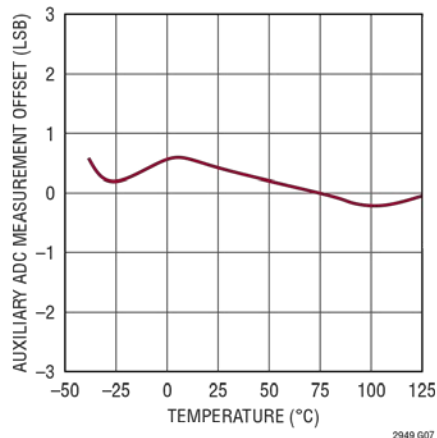
电压 (表示功率) 增益误差与温度的关系



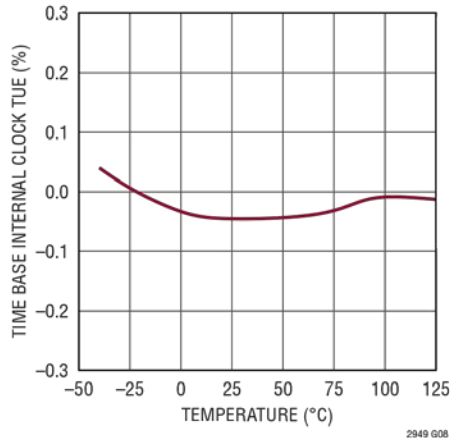
AUXADC 增益误差与温度的关系



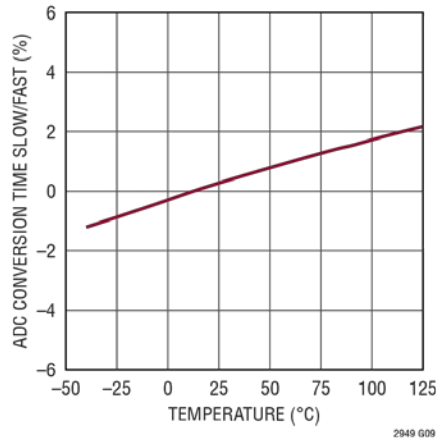
辅助 ADC 测量失调与温度的关系



时基内部时钟 TUE 与温度的关系

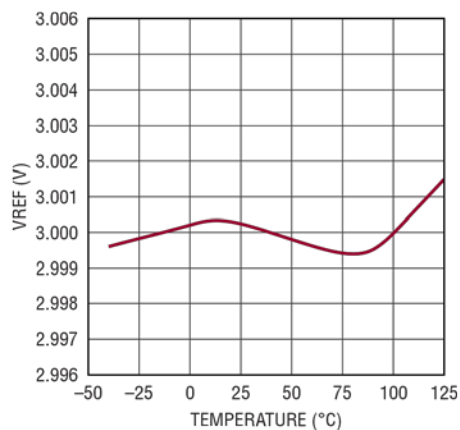


ADC 转换时间误差慢速/快速与温度的关系

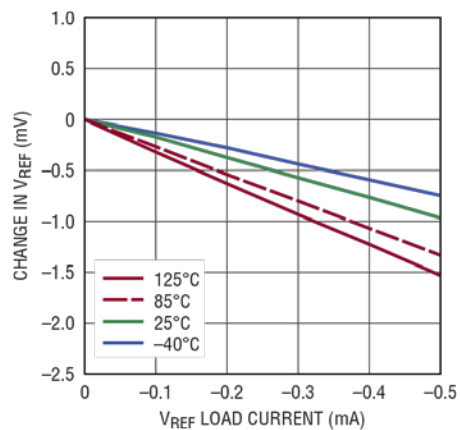


典型性能参数

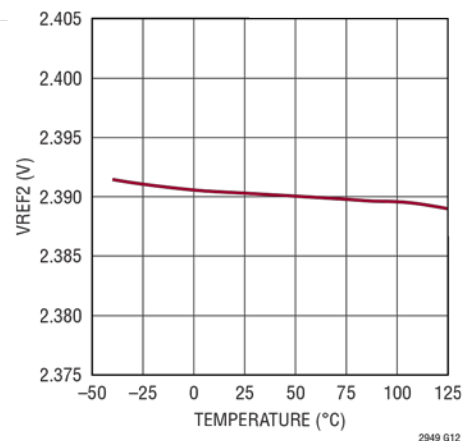
VREF 与温度的关系



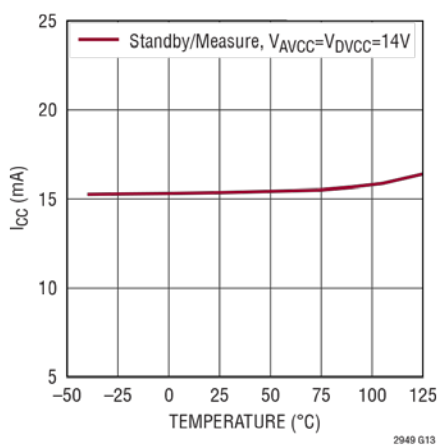
VREF 负载调整率



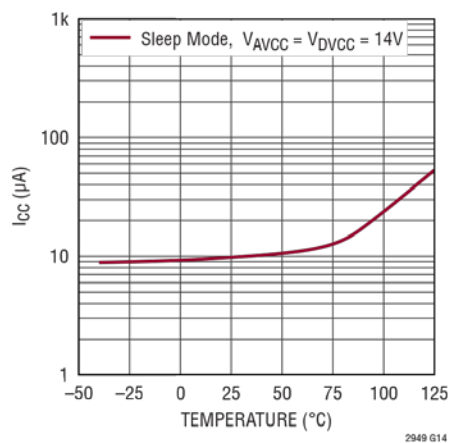
VREF2 与温度的关系



AVCC/DVCC 电源电流待机/
测量与温度的关系



AVCC/DVCC 电源电流与温度的
关系



引脚功能

AVCC (引脚 19): 模拟电源电压。通过 0.1 μ F (或更大) 电容将此引脚旁路至 AGND。AVCC 工作范围是 4.5V 至 14V。

AGND (引脚 18): 模拟地。通过 0.1 μ F (或更大) 电容将此引脚旁路至 AVCC。

BYP1 (引脚 16): 内部电源电压。通过 1 μ F 电容将 BYP1 旁路至 DGND。BYP1 调节到 2.5V。可向外部电路 (例如 EEPROM) 提供最多 10mA 的电流。过载可能破坏 LTC2949 功能。

BYP2 (引脚 25): 内部 3.3V 电源电压。通过 1 μ F 电容将 BYP2 旁路至 DGND。可向外部电路 (例如 SPI 隔离器 ADuM141E 或 ADuM4154) 提供最多 10mA 的电流。过载可能破坏 LTC2949 功能。

CF1P、CF1M (引脚 44、43): 第一电流通道的滤波电容输入。在 CF1P 和 CF1M 之间连接一个 1 μ F 电容, 用以滤除差分噪声和快速电流变化。在 AGND 和滤波器引脚之间连接 0.1 μ F 的电容, 用以抑制高频共模变化。

CF2P、CF2M (引脚 39、40): 第二电流通道的滤波电容器输入。在 CF2P 和 CF2M 之间连接一个 1 μ F 电容, 用以滤除差分噪声和快速电流变化。在 AGND 和滤波器引脚之间连接 0.1 μ F 的电容, 用以抑制高频共模变化。

CLKI (引脚 33): 时钟输入。使用内部时钟时接地。为了提高测量精度, 可在 CLKI 和 CLKO 之间连接一个 4MHz 晶振, 并将匹配电容接地, 或使用外部时钟驱动。参见“时基控制”部分。

CLKO (引脚 34): 时钟输出。如果使用, 应在 CLKO 和 CLKI 之间连接一个 4MHz 晶振。否则, 请勿连接该引脚。

CSB/IM (引脚 30): SPI 模式下为低电平有效片选引脚, isoSPI 模式下为隔离接口负输入/输出引脚。

DGND (引脚 17): 数字地。连接到 AGND。

DNC (引脚 21、22、23、24、31、32、36、37、46): 请勿连接。

DVCC (引脚 20): 电源电压。通过 1 μ F 电容将此引脚旁路至 DGND。工作范围是 4.5V 至 14V。

I1P、I1M (引脚 45、42): I1ADC 和过流比较器 1 的差分输入。不使用时应接至 AGND。

I2P、I2M (引脚 38、41): I2ADC 和过流比较器 2 的差分输入。不使用时应接至 AGND。

IOVCC (引脚 26): 串行接口配置和电源引脚。该引脚接 DGND 时, 执行 isoSPI 通信。该引脚连接到 $\geq 1.8V$ 且 $\leq 4.5V$ 的电压并通过 1 μ F 电容旁路至 DGND 时, 执行标准 SPI 通信。在 SPI 模式下, IOVCC 为串行接口的数字输入和输出电路供电。

SCK/IP (引脚 29): SPI 模式下为串行时钟输入, isoSPI 模式下为隔离接口正输入/输出。

SCL (引脚 14): I²C 主时钟开漏输出。连接到 EEPROM 的时钟输入。

SDA (引脚 15): I²C 数据输入和开漏输出。连接到 EEPROM 的数据线。上电时将 SDA 驱动为低电平, 可防止 LTC2949 自动进入 SLEEP (睡眠) 状态并执行 HW 存储器 BIST。在 SDA 和 BYP1 之间连接一个 4.7k-10k 上拉电阻, 确保自动睡眠和存储器 BIST 正确运行。

SDI/ICMP (引脚 27): SPI 模式下为串行数据输入, isoSPI 模式下为隔离接口比较器电压阈值。将 ICMP 连接到 IBIAS 和 DGND 之间的电阻分压器, 以设置 isoSPI 接收器比较器的电压阈值。比较器阈值设置为 ICMP 引脚电压的 1/2。

SDO/I_{BIAS} (引脚 28): SPI 模式下为开漏串行数据输出, isoSPI 模式下为隔离接口电流偏置。在 SPI 模式下, 用一个上拉电阻连接到 IOVCC。在 isoSPI 模式下, 通过一个电阻分压器将 IBIAS 连接到 DGND, 以设置接口输出电流水平。isoSPI 接口使能时, IBIAS 引脚电压调节为 2V。IP/IM 输出电流驱动器设置为 IBIAS 引脚流出的电流 IB 的 20 倍。

V1、V2、V3、V4、V5、V6、V7 (引脚 1、2、3、4、5、7、8): 电压测量输入。引脚电压先在内部进行缓冲, 再应用于 AUXADC, 以确保高输入阻抗 (50M Ω) 和低漏电流。不使用时可浮空。

引脚功能

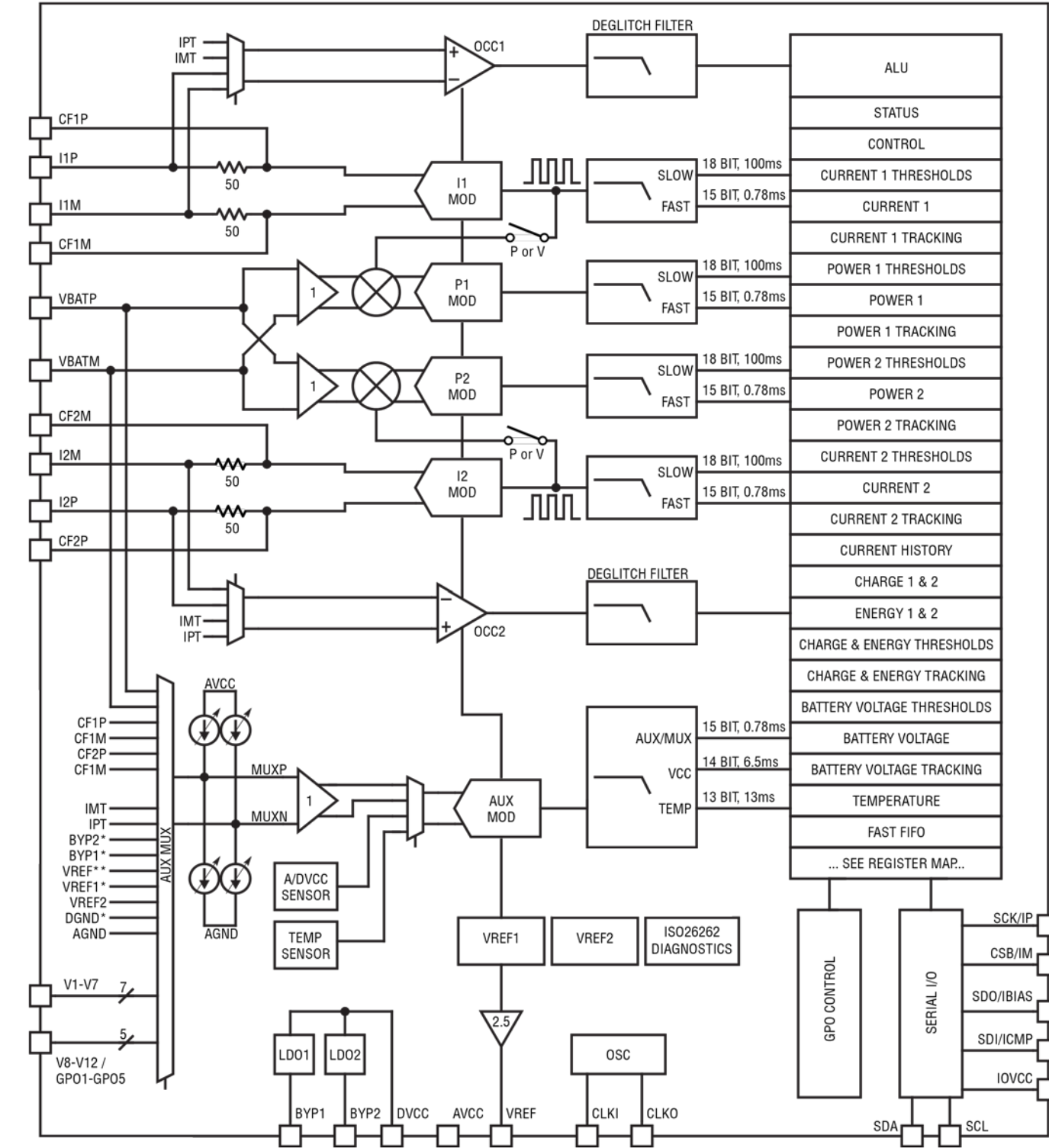
V8-12/GPO1-5 (引脚 9、10、11、12、13): 通用电压输入 In- 和数字输出。引脚电压先在内部进行缓冲，再应用于 AUXADC，以确保高输入阻抗 (50M Ω) 和低漏电流 (<10nA)。每个引脚都可以切换到 DVCC、切换到 DGND 或以 400kHz (典型值) 的频率在 DVCC 和 DGND 之间切换。在睡眠模式下，引脚处于三态。不使用时可浮空。

VBATP、VBATM (引脚 48、47): 电池电压测量。VBATP 和 VBATM 之间的差分电压经过内部缓冲，以确保高输入阻抗 (50M Ω) 和低漏电流 (<10nA)。

VREF (引脚 35): 基准电压输出。VREF 为 NTC 温度测量提供缓冲的 3V 基准电压。电流负载限值为 0.5mA。通过 1 μ F 电容将此引脚旁路至 AGND。

裸露焊盘 (引脚 49): 连接到 AGND。

框图



* 用户无法访问测量值。仅用于内部诊断。
** VREF 测量值只能由用户从 AUX 慢速通道访问。
关于允许从 AUX 快速通道进行 VREF 测量的建议，另请参见“未使用输入引脚 V1-V12”部分。
有关 AUX MUX 配置的更多信息，另请参见“表 57. MUX 设置”。

操作

概述

LTC2949 是一款高精度电流、电压、电荷和电能计量器件,适用于电动和混合动力车辆或其他需要隔离数据采集的应用。其工作电源电压为 4.5V 至 14V;通过同时监控最多两个检测电阻中的电流和电池包电压,它推断出流入流出电池包的电荷和电能。5 个轨到轨低失调 $\Delta\Sigma$ ADC 确保电流、电压和功率得到准确测量,而功率损失微不足道。LTC2949 使用高采样速率的电压和电流的瞬时乘积来精确推断功率,即使负载快速变化也无妨。除了用于测量电流和电池电压的输入之外,LTC2949 还有 12 个模拟输入引脚(V1 至 V12),用于测量外部电压。使用内置多路复用器,LTC2949 可在任意一对输入引脚之间执行差分高输入阻抗轨到轨电压测量。引脚 V8 至 V12 可配置为高压数字输出,摆幅从地到数字电源电压(DVCC),用以控制高压晶体管等外部元件。在慢速模式下,电流、电压、功率、温度、电源电压和两个可编程多路复用器设置的一个自动测量周期需要 100ms。LTC2949 反复执行此类测量,并重新计算电能、电荷、时间,更新最小/最大跟踪和阈值寄存器,从而实现电流和功率的连续积分,无损地跟踪电池包所传递或接收的电荷和电能。片内振荡器为计算总电荷、电能和时间提供精度为 1% 的时基。如果需要更高的精度,可以在引脚 CLKI 和 CLKO 之间连接一个 4MHz 晶振,或使用外部时钟。

对于时间关键型应用,可使用快速模式,该模式下的转换时间缩短至 782 μ s。快速操作期间采集的数据存储在四个 FIFO 中,每个 FIFO 最多可包含 4 个同步测量参数的 1000 个快速 ADC 读数。从 FIFO 读取数据会产生同步转换的结果,因而能够跟踪电池阻抗、分析电流或监视其他快速事件,例如闭合接触器之前的预充电电压。可以为慢速模式下测量的参数设置阈值,如果超过阈值,LTC2949 就会设置警报寄

存器中的相应位。最多两个 GPO 上有可编程心跳功能,允许通过隔离栅发送已使能的警报信号,这与串行接口无关。这些引脚以 400kHz 的频率切换,若出现警报则停止切换。

LTC2949 的每个电流通道都有一个可编程模拟过流比较器,适用于需要快速检测过流情况的应用。可编程去毛刺滤波器可以丢弃比预定义持续时间短的过流事件*。

该器件有一个 3V 基准电压输出(VREF),用于连接外部 NTC 或分压器,以便能够测量地以下的信号。在慢速模式下,LTC2949 提供了用于线性化最多两个外部 NTC 的温度读数的方法,即通过求解具有可编程系数的 Steinhart-Hart 方程。LTC2949 可配置为使用线性化 NTC 温度读数来自动补偿低成本分流电阻的用户编程温度系数。

LTC2949 具有可编程增益校正系数,用以补偿外部分流电阻和电阻分压器的容差。 I^2C 主接口和专用命令支持读写外部 EEPROM,该 EEPROM 可用于存储校准系数和 LTC2949 的整个寄存器内容,以确保没有电源也能保存数据。校正系数存储在 EEPROM 中的好处是可使用模块化方法来对应用电路板进行工厂校准。

当芯片温度高于 150°C 时,热关断电路激活,IC 复位到默认状态,只有热关断位本身不复位。

测得的量存储在内部寄存器中,可通过片上 SPI 或 LTC 专有 isoSPI 接口访问,后一接口支持 LTC2949 完全隔离运行。LTC2949 是为兼容凌力尔特的多节电池监控器(LTC68XX)而开发的。各种总线结构(SPI 或 isoSPI、多点和/或菊花链)都是可行的。LTC2949 支持一组有限的凌力尔特电池监控兼容命令,用于触发同步 ADC 转换和数据回读。

*专用心跳引脚指示过流情况,以使响应时间最快。

操作

隔离操作中采集的数字数据通过外部电容或变压器传输到隔离栅另一端。通过选择适当的外部元件，可以实现几千伏电势差的桥接。

所有这些特性可以支持除电流和电荷测量之外的广泛应用，例如：测量隔离电阻、控制预充电开关、指示警报状态、监视接触器状态等。LTC2949 提供了多种诊断功能来支持功能安全关键型系统，更多信息请参阅《安全手册》。

工作模式

内核状态说明

当所有电源电压都上升到 UVLO 阈值以上时，LTC2949 就会启动，将所有寄存器设置为默认状态，并在 1 秒后进入默认 SLEEP 状态，电流消耗为 $10\mu\text{A}$ (典型值)，防止插入供电电池后快速放电。

在 SLEEP 状态下，所有 GPO 都处于三态，LTC2949 监视串行接口；在 SPI 模式下，器件在 CSB 下降沿启动引导序列。在 isoSPI 模式下，首先必须通过唤醒脉冲唤醒 isoSPI 接口，然后才能发送脉冲，以在内部 CSB 上产生负边沿。在引导序列期间，主机可以轮询操作控制寄存器中的 SLEEP 位，检查 LTC2949 是否处于唤醒状态和 STANDBY 模式 (唤醒和引导过程另请参见图 20)。在 CSB 的第一个下降沿之后最多 100ms (t_{BOOT})，LTC2949 进入 STANDBY 状态。在 STANDBY 状态下，所有基准电压都上电，时钟被提供给数字电路。如果在进入 STANDBY 状态后 1 秒内 (t_{ACKN}) 未收到唤醒确认命令，则 LTC2949 自动返回 SLEEP 状态。向寄存器 WKUPACK 写入 $0x00$ 可确认唤醒。

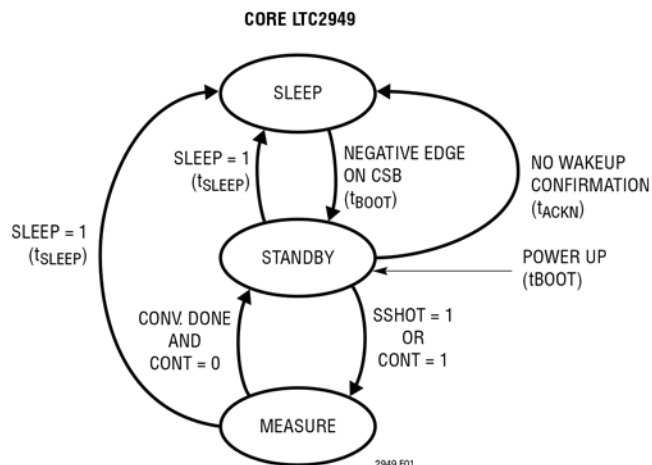


图 1. LTC2949 运行状态图

收到睡眠命令后大约 200ms (t_{SLEEP})，LTC2949 进入 SLEEP 状态。在 t_{SLEEP} 期间，CSB 的负边沿会阻止 LTC2949 进入 SLEEP 状态。在 SLEEP 期间，内部模拟电源和 BYP1 关闭，导致 LTC2949 从 SLEEP 恢复时，UVLOA 和 UVLOD 位置 1。内部始终接通的稳压电压为存储器供电，在 SLEEP 期间保证数据得以保存。如果 AVCC 或 DVCC 降至 UVLO 阈值以下，内部始终接通电源 UVLOSTBY 的 UVLO 位会置 1，并发生上电复位，所有寄存器复位为默认值。在 STANDBY 状态下，所有内部电路均处于活动状态，但除了基准电压 (VREF) 之外，不进行任何测量。通过设置操作控制寄存器 OPCTRL 中的单次 (SSHOT) 或连续 (CONT) 位，可以指令 LTC2949 从 STANDBY 进入 MEASURE 状态。

isoSPI 状态说明

如果 IOVCC 引脚连接到 $\geq 1.8\text{V}$ 的电源电压，LTC2949 将以正常 SPI 模式工作，IOVCC 为所有 SPI 信号的接收电路和输出驱动电路供电。

操作

将 IOVCC 连接到 DGND 就会使能 isoSPI 端口。isoSPI 端口有三种不同状态：IDLE (空闲)、READY (就绪) 和 ACTIVE (活动)。在 IDLE 状态下，isoSPI 端口关断。只有 IP-IM 上的差分活动产生唤醒信号，isoSPI 端口才会在 t_{READY} ($10\mu\text{s}$) 之后进入 READY 状态，准备发送或接收数据。READY 状态下的电流消耗会增加几毫安。进行通信时，isoSPI 端口处于 ACTIVE 状态，电源电流进一步上升，具体升幅取决于时钟频率。为了节省电力，当 IP-IM 上没有任何差分活动的持续时间超过 t_{IDLE} (5.5ms) 时，isoSPI 端口进入 IDLE 状态。仅当 isoSPI 端口非处于 IDLE 状态时，才能与 LTC2949 内核进行通信。这意味着，即使 LTC2949 内核处于 STANDBY (待机) 或 MEASURE (测量) 状态，但如果 isoSPI 端口处于 IDLE 状态，那么也要在 IP-IM 上有差分活动且经过 $10\mu\text{s}$ (t_{READY}) 之后，通信才会发生。

图 29 显示了从唤醒接口到完成 ADC 测量，isoSPI 接口和 LTC2949 内核经历的状态序列。关于建议唤醒序列的实现，另请参见图 20。

数据采集通道

LTC2949 有两个电流 ADC (I1ADC、I2ADC)、两个功率 ADC (P1ADC、P2ADC) 和一个辅助 ADC (AUXADC)。I1ADC 和 P1ADC 组成一组，形成数据采集通道 1 (CH1)，I2ADC 和 P2ADC 形成通道 2 (CH2)，AUXADC 与辅助多路复用器 (AUXMUX)、芯片温度传感器、电源电压传感器一起形成通道 AUX (CHAUX)。

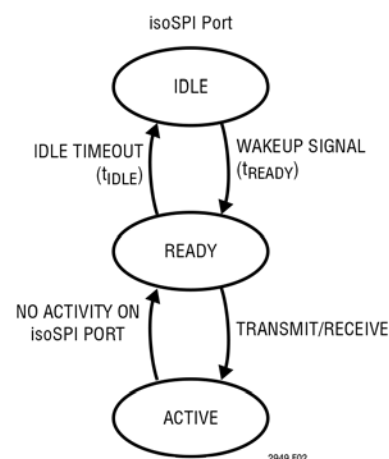


图 2. isoSPI 状态图

CH1 和 CH2 可以分别设置为 18 位高精度模式 (慢速模式、默认) 或 15 位快速模式。激活快速模式可将所选通道上的转换时间从 100ms 减少到 $782\mu\text{s}$ 。设置 ADC 配置寄存器 (ADCCONF) 中的相应“功率作为电压” (PasV) 位，以禁用输入缓冲器后的功率放大功能，可以将各功率 ADC 配置为电压 ADC。

慢速、高精度模式

默认情况下，LTC2949 的采集通道处于慢速高精度模式，如果设置了 PasV，则 CH1 或 CH2 的转换需要 100ms 时间，并产生 18 位电流和功率或电流和电压转换结果。在这 100ms 里，辅助通道 (CHAUX) 利用循环 (RR) 模式依次测量六个不同量，从 VBATP – VBATM (BAT)

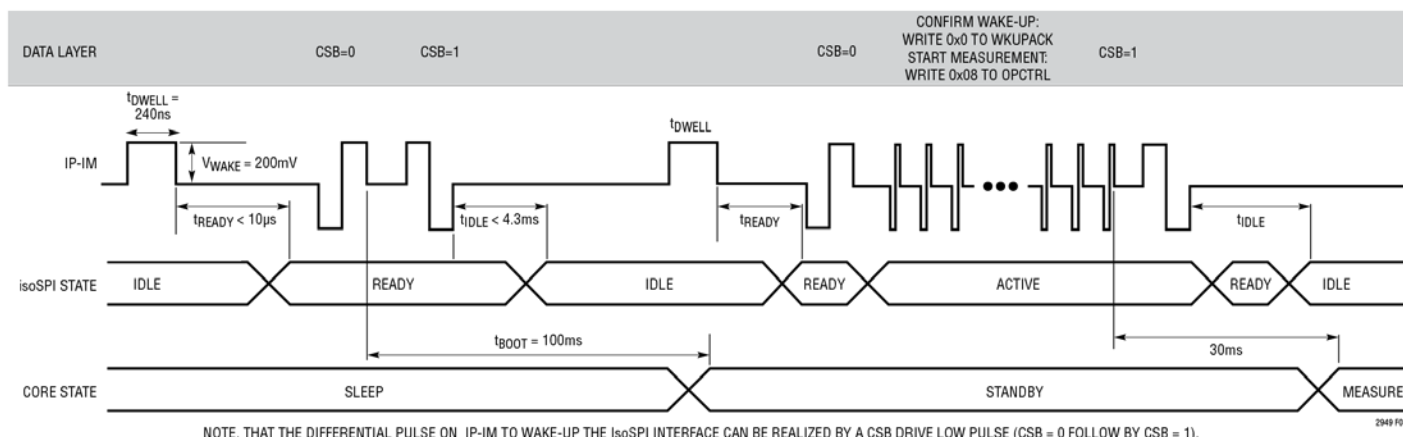


图 3. IsoSPI 和内核状态的时序

操作

开始, 然后是芯片温度 (TEMP)、AVCC 电源电压 (VCC)、两个 AUXMUX 输入 (SLOT1 和 SLOT2, 可通过多路复用器设置寄存器选择), 最后是基准电压 (VREF)。此外, 慢速模式下还会提供 IADC1 和 IADC2 的最后四个测量结果的移动平均值, 得出 20 位结果。在慢速高精度模式下, 可以触发单次转换或连续转换。连续慢速模式 (CONT) 是最典型的操作, 也是进行快速转换的先决条件。

单次测量模式 (SSHOT)

当操作控制寄存器中的 SSHOT 位置 1 时, LTC2949 测量 CH1 和 CH2 以及上述六个辅助通道, 更新相应的最小值、最大值和阈值寄存器, 然后复位 SSHOT 位, 将状态寄存器中的 UPDATE 位置 1, 并返回 STANDBY 状态。由于没有进行时间测量, 电荷和电能寄存器也未更新, 因此不与最小/最大阈值进行比较。主机可以轮询状态寄存器中的 UPDATE 位以检测测量周期是否完成。测量会在设置 SSHOT 位之后的 20ms (t_{IDLE_CORE}) 内开始。

连续测量模式 (CONT)

当操作控制寄存器中的 CONT 位置 1 时, LTC2949 重复测量 CH1 和 CH2 以及六个辅助通道, 重新计算电能、电荷、时间, 并且每隔 100ms 更新一次最小值/最大值跟踪和状态寄存器。CONT 位置 1 后, 开始连续高精度测量最多可能需要 20ms (t_{IDLE_CORE})。在此模式下, 电流和功率 ADC 连续运行, 确保不丢失任何电荷或电能。如果将功率 ADC 配置为测量电压 (PasV), 相应通道的电能不会累加。LTC2949 保持连续模式, 直到用户复位操作控制寄存器的 CONT 位。如果在连续模式下设置 SSHOT 位, LTC2949 将完成当前测量周期, 然后进入单次模式, 操作控制寄存器中的 CONT 位清零。

在连续测量模式下, 主机可以定期检查相应的时间寄存器 (TB1、TB2、TB3 或 TB4) 是否递增, 从而轮询测量周期是否结束。

访问高精度结果

在每个 100ms 测量周期结束时, 测量量的所有结果寄存器都会更新; 在连续模式下, 累计量也会更新。此外, 每个电流通道的前四个测量结果会存储在电流历史记录寄存器中, 其平均值存储在电流平均值寄存器中, 详细信息请参见“寄存器映射”部分。通过读取时间寄存器之一 (TB1-TB4) 并寻找有无变化值, 可以得知测量结果的结果寄存器更新是否完成。

快速模式

LTC2949 提供一种快速模式, 其转换时间缩短到 782 μ s, 分辨率为 15 位。快速模式支持在某一精确时间点开始测量, 从而执行与 LTC 电池包监控器的电压测量同步的测量 (例如, 用以推断单个电池的电池阻抗)。

快速模式配置

通过设置快速控制寄存器 (FACTRL) 中的相应位 FACH1 或 FACH2, LTC2949 可以将数据采集通道 2 设置为快速模式, 而数据采集通道 1 保持慢速高精度模式, 或者将两个数据采集通道 1 和 2 均设置为快速模式。辅助通道可以独立于 CH1 和 CH2 设置为快速模式, 仅转换单个量 (由快速 MUX 控制寄存器选择), 而不是轮流转换 (RR)。

为了缩短启动延迟时间, LTC2949 必须处于连续模式 (CONT = 1), 然后才能触发快速转换。快速测量要么通过 ADCV 命令 (快速单次) 触发, 要么通过设置快速控制寄存器 (FACTRL) 的 FACONV 位来触发。收到正确的 PEC 之后, ADCV 命令立即触发对所选通道的单次快速转换, 其与 LTC 的电池包监控器同步。如果通过设置 FACONV = 1 来触发快速测量, LTC2949 将执行一系列快速转换, 直到 FACONV 或 CONT 复位为止。快速连续模式下采集的样本存储在最多四个快速输入通道 (I1、I2、BAT 通过 P1 或 P2, 以及 AUX) 的各 FIFO 中。

操作

完成联合快速模式转换之后，CH1 和 CH2 自动在慢速高精度模式下重启。如果 CH2 原处于快速模式，而 CH1 继续以慢速高精度模式运行，则 CH2 将在完成快速模式采集后停止转换，当 ADCV 命令要求或再次设置 FACONV 时，CH2 会执行更多快速模式转换。在所有快速测量停止 300 ms 之后，辅助通道慢速模式循环 (BAT、TEMP、VCC、SLOT1、SLOT2、VREF) 会自动重启。在需要连续高 AUX 测量速率（比每次 100ms 更快）的应用中，建议同时通过 V1-V12 的外部连接测量 VREF 和可选的 VCC，并在软件中实现快速单次测量的手动循环。

访问快速模式结果

快速转换的最后结果可以通过 RDCV 命令读取，依次提供 I1、I2、BAT（通过 P1 或 P2）和 AUX 的结果，最后还会指示数据是新的 (0xF) 还是旧的 (0x0)。BAT 是功率 ADC 的结果；如果将 ADC 设置为电压模式（位 PasV = 1），功率 ADC 的结果将为 0。如果两个通道均处于快速模式，且其功率 ADC 处于电压模式，则 BAT 从 PADC1 获得。请注意，为了与 LTC 电池包监控器兼容，RDCV 先报告低位字节 (LSByte)。

此外，I1、I2、BAT（通过 P1 或 P2）和 AUX 的最后 1000 次快速转换结果存储在先进先出寄存器中，FIFOI1、FIFOI2、FIFOBAT 和 FIFOAUX 可访问这些寄存器。连续读取 FIFOI1 会相继提供第一个电流 ADC 的每个样本的 3 个字节：I1 MSB、I1 LSB 和限定符 (TAG)；限定符表示对应的 FIFO 数据是否正确 (0x00)，是否已被读取，因为自读取整个 FIFO 以来没有向 FIFO 添加任何新数据（默认值 0x55），或者是否已被覆盖，因为 FIFO 已被填充而未读取 (0xAA)。类似地，其他 FIFO 提供相

应的量。如果通过 ADCV 命令（在 FACONV = 0 时）或通过设置 FACONV 触发快速转换，则所有 TAG 都初始化为默认值 (0x55)。通过复位 CONT 退出连续模式也会清除 FIFO。

对于 RDCV 和 FIFO 读数，快速转换结果的 LSB 大小相同，如表 28 所示。

当 CH1 和 CH2 均处于快速模式时，IADC1 和 IADC2 的 128 个转换结果会进行平均，并存储在各自的非累加结果寄存器 Current1 和 Current2 中，再添加到 Charge1 和 Charge2 寄存器上，以确保电池的充电和放电在快速模式下也会被监控。

类似地，11 位分辨率的 PADC1 和 PADC2 的 128 个转换结果也会进行平均，并存储在各自的非累加结果寄存器 Power1 和 Power2 中，再添加到 Energy1 和 Energy2 寄存器上（如果 PADC 处于功率模式，即 PasV = 0）。如果 CH1 处于慢速模式，而 CH2 处于快速模式，则电流和功率结果寄存器仅报告 CH1 结果，CH2 结果可通过 RDCV 或相应的 FIFO 访问。

数据采集通道的推荐配置

在典型应用情形中，LTC2949 提供的两个数据采集通道均可监视单个分流电阻中的电流，CH1 用于执行高精度电流和功率测量以及电荷和电能积分，而 CH2 获取电流和电压的快照（例如用于阻抗测量）。

或者，LTC2949 提供的两个数据采集通道可用于监视两个不同分流电阻中的电流。在这种应用情形中，两个通道均可在快速或慢速模式下使用。CHAUX 可以完全独立于 CH1 和 CH2 进行配置。AUXADC 的默认模式为 RR，使能 CHAUX 的快速模式可以将其禁用。

操作

表 1. 采集通道配置

	单分流电阻	双分流电阻	
CH1	慢速	慢速	快速
CH2	快速	慢速	快速
CHAUX	RR/快速	RR/快速	RR/快速

单分流电阻配置

如果仅使用一个外部分流电阻, 则 CH1 可用来执行连续高精度电荷和电能积分测量, 而 CH2 可用来执行与 LTC 的电池包监控器同步的快速测量。通过设置操作控制寄存器 (OPCTRL) 中的 CONT 位和快速控制寄存器 (FACTRL) 中的 FACH2 位, CH1 将执行连续的慢速测量, 而 CH2 可用来执行快速测量 (由 ADCV 命令触发)。在快速连续 (FACONV) 操作的情况下, CH1 及其积分量的测量每 100ms 更新一次, 而 CH2 结果可通过 RDCV 命令读出或从 FIFO 寄存器中获取。

双分流电阻高精度配置

对于需要连续不间断高精度库仑计数和电能测量的双分流电阻应用, 应通过设置 OPCTRL 中的 CONT 位将 CH1 和 CH2 均配置为慢速高精度模式。CH1 和 CH2 上的转换需要 100ms; 在 CH1 每次转换开始时, 都会启动 CHAUX 的新 RR 周期。

如果需要快速电压数据, 可以将 AUXADC 配置为快速模式, 这不会中断 CH1 和 CH2 上的电荷和电能累加。设置 FACONV 和 FACHA 位之后, AUXADC 立即停止 RR 模式, 并连续测量由快速 MUX 控制寄存器选择的单个量。数据被写入 FIFOAUX。FACHA 位清零后, AUXADC 自动返回 RR 操作 (300ms 后)。VREF、内部芯片温度和 VCC 的测量只有在使能 RR 的情况下可行。另外, 在快速模式下, 也可以使用 V1-V12 的外部连接来测量 VREF 和 VCC (通过外部电阻分压器)。

双分流电阻快速测量配置

通过设置 FACONV、FACH1 和 FACH2 位, 可将 CH1 和 CH2 均设置为快速模式。电荷通过对 15 位电流结果求和来累计, 电能通过对 11 位功率结果求和来累计。

一次转换需要 782μs, 每隔 100ms 开始一个新的 RR 周期。该配置适合使用两个分流电阻且需要快速电流、电压和功率测量的应用。例如: 快速阻抗跟踪或测量预充电电压和电流。

功率测量

LTC2949 使用额外的 ADC 测量功率, 这些 ADC 在模数转换引起的任何均值计算之前, 以最高 5.24MHz 采样频率将电压 (VBATP – VBATM) 和电流相乘。即使电流和电压在 100ms 转换时间内发生相位变化 (如果从具有明显阻抗的电池中获取功率, 便可能发生这种情况), 它也能保持精度。图 4 显示了当负载吸收交流电流时, 电池阻抗导致 BAT 电压从 4V 降至 3V 的例子。在此示例中, 平均电流与平均电压的乘积会导致计算出的功率出现 +8% 的误差, 因为该电压显著低于汲取峰值电流时的平均电压。LTC2949 采用的方案避免了此误差, 在高达 50kHz 的信号下可保持额定精度。

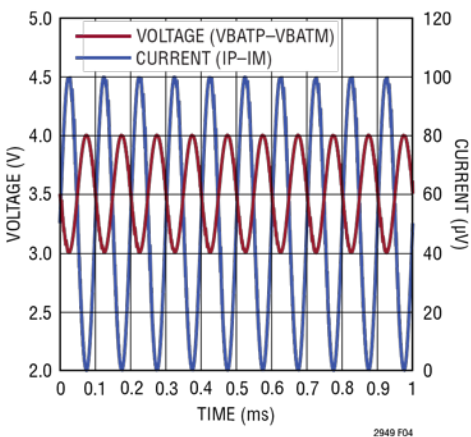


图 4. 瞬态信号的功率测量

操作

电荷、电能和时间

LTC2949 将电流和功率测量结果对时间积分，计算流向负载的电荷和电能。它还会记录用于积分的总累计时间。

对于电荷和电能，LTC2949 为每个量提供了三组寄存器；对于“时间”量，它提供了四组寄存器。

Charge1、Energy1 和 Time1 包含 Channel1 的累计数量。Charge2、Energy2 和 Time2 包含 Channel2 的累计数量。Charge3 和 Time3 包含 Channel1 和 Channel2 监视的电荷之和及相应的时间。类似地，Energy4 和 Time4 包含 Channel1 和 Channel2 监视的电能之和及相应的时间。有关更多信息，请参阅寄存器映射说明中的“累计结果寄存器”部分。

每组寄存器可以独立配置，根据所测电流的符号累计电流和功率。还可以设置一个最小电流阈值，低于此阈值将停止积分。有关更多信息，请参阅寄存器映射说明中的“控制寄存器”部分。

时基

通过电流和功率积分来精确测量电荷和电能，需要一个精确的积分周期。LTC2949 使用经调整的內部振荡器或外部时钟作为确定积分周期的时基。它既可使用频率范围在 200kHz 至 25MHz 之间的外部方波时钟，也可使用 4MHz 晶振作为外部时钟输入。如果使用外部方波，应将其连接到 CLKI 引脚，而 CLKO 引脚应保持不连接状态。

图 5 显示了使用晶振产生参考时钟的推荐电路。如果使用内部时钟，应将 CLKI 接地，CLKO 保持不连接状态。

时基控制

LTC2949 默认情况下使用内部振荡器。如果使用外部时钟或晶振，则需要适当设置时基控制寄存器中的 PRE 和 DIV 参数。然后，LTC2949 将其内部时钟与外部频率进行比较，并将时间、电荷和电能表示为外部时钟周期的倍数。为了支持允许的大范围外部频率，必须通过时基控制寄存器配置内部预分频器。

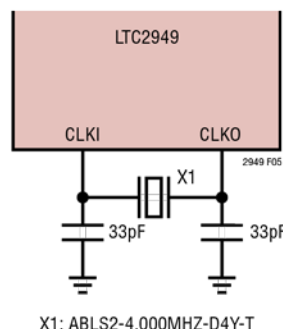


图 5. 采用 4MHz 晶振的参考时钟

预分频器由两级组成，第一级将外部频率 f_{REF} 除以因子 2^{PRE} ，第二级除以因子 DIV。PRE 通过时基控制寄存器的位 [2:0] 设置，范围为 0 到 5。PRE 的配置应使外部频率除以 2^{PRE} 的结果小于 1MHz，如表 2 所示：

表 2. 采用外部时钟的参数 PRE

f_{REF}	PRE	2^{PRE}	PRE[2:0]
$0.1\text{MHz} \leq f_{REF} \leq 1\text{MHz}$	0	1	000
$1\text{MHz} \leq f_{REF} \leq 2\text{MHz}$	1	2	001
$2\text{MHz} \leq f_{REF} \leq 4\text{MHz}$	2	4	010
$4\text{MHz} \leq f_{REF} \leq 8\text{MHz}$	3	8	011
$8\text{MHz} \leq f_{REF} \leq 16\text{MHz}$	4	16	100
$16\text{MHz} \leq f_{REF} \leq 25\text{MHz}$	5	32	101
内部	7		111

然后，预分频器的第二级将结果除以因子 DIV。DIV 通过时基控制寄存器的位 [7:3] 设置，范围为 0 到 31。应将 DIV 设置为预分频器的第一级输出 ($f_{REF_1} = f_{REF}/2^{PRE}$) 与 32768Hz 之比的下个较小整数值，换句话说：

$$DIV = \text{floor}\left(\frac{f_{REF}}{2^{PRE} \cdot 32768\text{Hz}}\right)$$

如果使用晶振，则这些值为：PRE = 2, DIV = 30。LTC2949 的 Quick Eval™ 软件含有一个用于计算这些参数的易用计算器。表 3 给出了常见频率的几个例子。

操作

表 3. 常见频率的时基设置

f_{REF}	PRE	2^{PRE}	f_{REF-1} [MHz]	DIV	时基控制 [7:0]
1	0	1	1	30	1111 0000
1.5	1	2	0.75	22	1011 0001
4	2	4	1	30	1111 0010
10	4	16	0.625	19	1001 1100
20	5	32	0.625	19	1001 1101
25	5	32	0.781	23	1011 1101
内部	7			X	XXXX X111

过流比较器

LTC2949 有两个快速差分过流比较器，这些比较器具有轨至轨输入共模和可编程阈值，之后是可配置滤波器，用以抑制输入毛刺。过流比较器 1 (OCC1) 连接到引脚 I1P 和 I1M，而过流比较器 2 (OCC2) 监视 I2P 和 I2M 之间的差分电压。两个过流比较器均可独立配置为仅检测正过流或仅检测负过流，或检测与极性无关的过流。当至少一个过流比较器使能时，GPO5 变成心跳信号，若电流在所需范围内则以 400kHz 频率切换，若电流超过设定的限值则保持低电平。

I1P 和 I1M 之间的过流比较器 1 (OCC1) 由控制寄存器 OCC1CTRL 控制，而过流比较器 2 (OCC2) 由控制寄存器 OCC2CTRL 控制，二者均位于寄存器映射的第 0 页。两个 OCC 控制寄存器的组织方式如表 4 所示。

表 4. 过流比较器控制寄存器

位号	名称	功能
0	OCCxEN	使能 OCC
1	OCCxDAC0	阈值 DAC[0]
2	OCCxDAC1	阈值 DAC[1]
3	OCCxDAC2	阈值 DAC[2]
4	OCCxDGLT0	去毛刺 [0]
5	OCCxDGLT1	去毛刺 [1]
6	OCCxPOL0	极性 [0]
7	OCCxPOL1	极性 [1]

将相应的 OCCxEN 设置为 1 可使能过流比较器。

OCCxPOLx 位控制比较器的敏感极性，如表 5 所示。

表 5. OCC 极性配置

OCCxPOL1	OCCxPOL0	极性
0	0	双极性
0	1	正电流
1	0	负电流

各过流比较器的阈值可通过 OCCxDACx 位分别编程，范围是 0 至 310mV。

表 6. OCC 阈值

OCCxDAC2	OCCxDAC1	OCCxDAC0	阈值 [mV]
0	0	0	0
0	0	1	26
0	1	0	52
0	1	1	78
1	0	0	103
1	0	1	155
1	1	0	207
1	1	1	310

同样，超过阈值但比较器不报告的持续时间（去毛刺时间）可以通过 OCCxDGLTx 位设置，范围是 20 μ s 至 1.28ms。

表 7. OCC 去毛刺时间

OCCxDGLT1	OCCxDGLT0	去毛刺时间 [μ s]
0	0	20
0	1	80
1	0	320
1	1	1280

过流通过设置 VCC 和 OCC 状态寄存器 (STATVCC) 的 OCC1 和 OCC2 并停止 GPO5 上的心跳信号来报告。虽然输出寄存器的更新最多可能需要 100ms 的时间，但在过流超过所设置的去毛刺时间后，心跳将在 15 μ s 内停止。一旦发生过流，寄存器中的结果位将保持置位状态，直到其被主机读取且随后被清零为止。

出于诊断目的，过流比较器内置了使用测试输入信号 IPT 和 IMT 的自测功能，更多信息请参阅《安全手册》。

串行接口

串行接口概述

LTC2949 有两个串行接口，一个用于与主机通信，另一个用于寻址外部 EEPROM。用于主机通信的接口由引脚 27 至 30 组成，可基于 IOVCC 引脚的电压而配置为标准 4 线式串行外设接口 (SPI) 或 2 线式隔离接口 (isoSPI)。无论选择哪种配置，LTC2949 均充当 SPI 从器件。LTC2949 可在可寻址模式 (SPI 和 isoSPI) 下工作，也可以作为 LTC68xx 电池监控器的菊花链的最后一个元件 (仅限 isoSPI)。

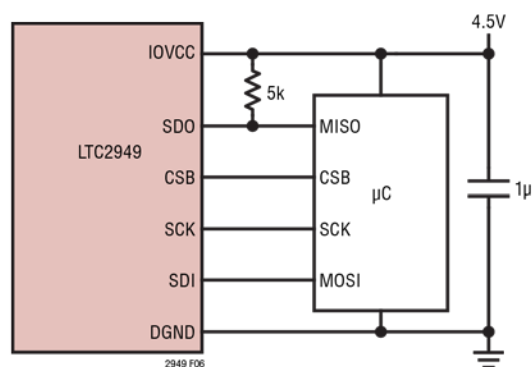


图 6.4 线式 SPI 外部连接

由引脚 14 和 15 组成的第二接口是 I²C 主接口，它允许将 LTC2949 的寄存器内容保存到外部 EEPROM 以及从中恢复，更多信息请参阅“外部 EEPROM 控制寄存器”部分。

4 线式串行外设接口 (SPI) 物理层

将 IOVCC 引脚连接到 $\geq 1.8V$ 的电源电压时，串行端口配置为 4 线式 SPI。逻辑输入阈值和输出摆幅由 IOVCC 引脚电压设置，该引脚应连接到与 SPI 主器件相同的电源。建议在 IOVCC 到 DGND 之间连接一个 $1\mu F$ 旁路电容。SDI 引脚常被称为 MOSI，SDO 引脚常被称为 MISO。设置 CPHA = 1 且 CPOL = 1，便可将 4 线串行端口配置为在 SPI 系统中运行。因此，SDI 上的数据在 SCK 的上升沿期间必须保持稳定，SDO 上的数据将在 SCK 的下降沿进行更新。时序如图 7 所示。最大数据速率为 1Mbps。参见“电气特性”部分。SDO 为开漏，需要上拉电阻。

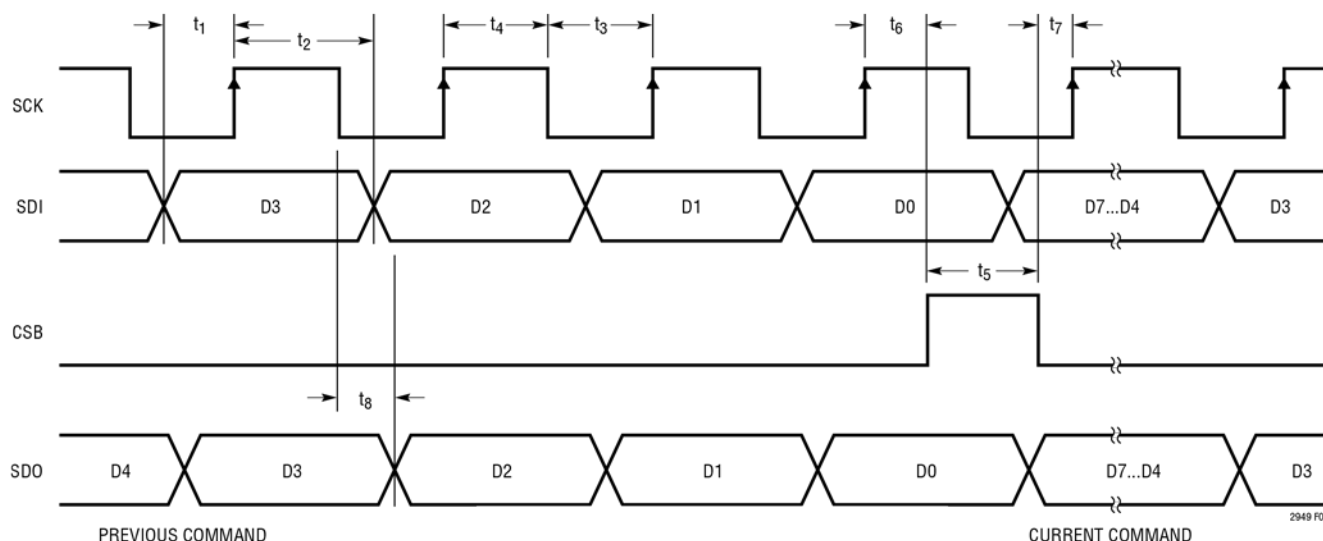


图 7.4 线式串行外设接口的时序图

串行接口

2 线式隔离接口 (isoSPI) 物理层

将 IOVCC 连接到本地芯片接地将使能 isoSPI 2 线式接口，它支持 LTC2949 以完全隔离方式运行。2 线接口提供了使用简单双绞线电缆与 LTC2949 进行通信的方法。应利用 LTC6820 将来自 SPI 主器件的标准 SPI 信号转换为脉冲，进而通过隔离栅发送到 LTC2949。

该接口针对低频组差错率而设计，适用于电缆受到高 RF 场影响的情况。隔离是通过外部变压器实现的。也可以使用 10nF 电容的容性耦合，但这种方案的共模噪声抑制性能非常有限（仅

针对低频），仅适合较短的单 PCB 互连且隔离栅上电压瞬变有限的情况。从 IP 和 IM 到 VCC 和 GND 可能需要额外的箝位肖特基二极管。标准 SPI 信号编码为差分脉冲。发射脉冲的强度和接收器的阈值电平由两个外部电阻设置。电阻的阻值允许用户用功耗换取更高的抗扰度。图 9 显示了 isoSPI 电路的工作原理。2V 基准电压驱动 IBIAS 引脚。外部电阻 R_{B1} 和 R_{B2} 产生基准电流 I_B 。该电流设置发送器的驱动强度。 R_{B1} 和 R_{B2} 还在 ICMP 引脚上形成 2V 基准电压的分压器，用以设置接收器电路的阈值电压。

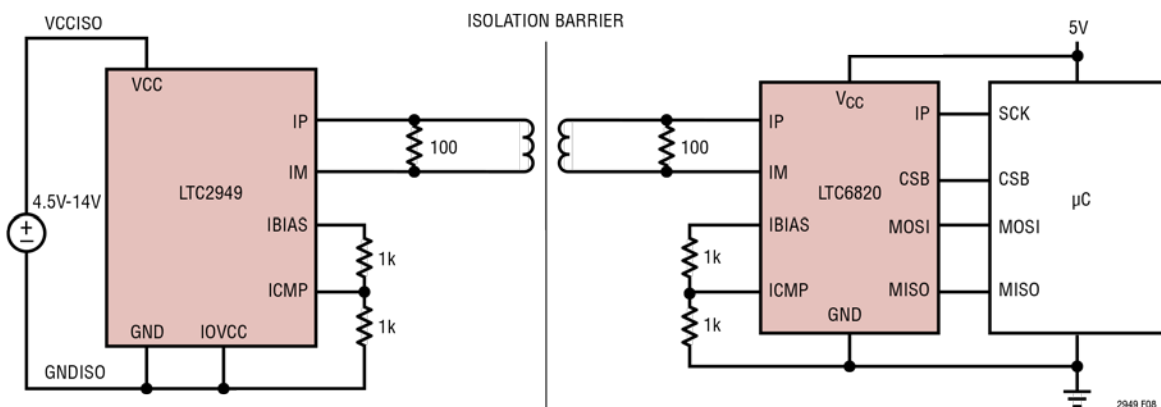


图 8. isoSPI 物理层

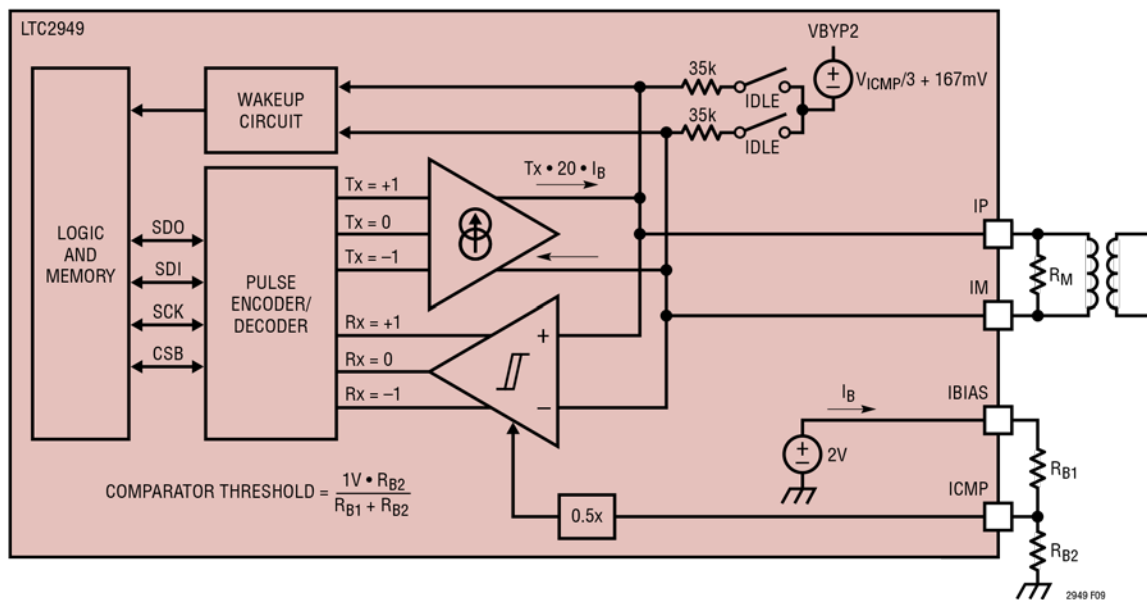


图 9. isoSPI 接口

串行接口

唤醒 isoSPI 端口

isoSPI 端口有三种工作模式：IDLE、READY 和 ACTIVE，如“isoSPI 状态说明”部分所述。在 IDLE 下，唤醒电路监视 IP 和 IM 引脚上的活动。IP-IM 上的差分活动会唤醒 isoSPI 接口。如果 IP/IM 上无活动的时间持续 t_{IDLE} 时间，isoSPI 端口将返回低功耗 IDLE 状态。如图 3 所示，当内核不处于 SLEEP 状态且 isoSPI 状态变为 READY（在唤醒后的 t_{READY} 时间内）时，LTC2949 即准备好进行通信。共模信号不会唤醒串行接口。该接口设计为在接收到大信号单端脉冲或低幅度对称脉冲后唤醒。差分信号 $|IP - IM|$ 必须至少为 $V_{WAKE} = 200mV$ ，且持续时间至少为 $t_{DWELL} = 240ns$ ，才能成为使串行接口上电的唤醒信号。

由 LTC6820 和兼容 isoSPI 器件（例如 LTC68xx 电池监控器）产生的“长-1”或“长+1”脉冲（= 将 CSB 驱动为低电平、高电平）肯定满足此要求。有关 isoSPI 脉冲的详细信息，请参阅以下章节。

选择偏置电阻

可调信号幅度使系统能够以功耗为代价来保持通信的鲁棒性，可调比较器阈值则使系统能够考虑信号损耗。isoSPI 发送器驱动电流和比较器电压阈值由 IBIAS 和 DGND 之间的电阻分压器 ($R_{BIAS} = R_{B1} + R_{B2}$) 设置。分压电压 (V_{ICMP}) 连接到 ICMP 引脚，该引脚将比较器阈值 (V_{ICMP}) 设置为此电压的 1/2。当使能 isoSPI 接口（非 IDLE）时，IBIAS 保持在 2V，导致电流 I_B 从 IBIAS 引脚流出。IP 和 IM 引脚驱动电流为 $20 \cdot I_B$ 。

例如，若分压电阻 R_{B1} 为 2.8k，而电阻 R_{B2} 为 1.21k（故 $R_{BIAS} = 4k$ ），则：

$$I_B = \frac{2V}{R_{B1} + R_{B2}} = 0.5mA$$

$$I_{DRV} = I_{IP} = I_{IM} = 20 \cdot I_B = 10mA$$

$$V_{ICMP} = 2V \cdot \frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} = I_B \cdot R_{B2} = 603mV$$

$$V_{TCMP} = 0.5 \cdot V_{ICMP} = 302mV$$

在此示例中，脉冲驱动电流 I_{DRV} 为 10mA，接收器比较器将检测 IP-IM 幅度大于 $\pm 302mV$ 的脉冲。如果隔离栅使用双绞线连接且每端均端接 100Ω 电阻的 1:1 变压器，则传输的差分信号幅度 (\pm) 为：

$$V_A = I_{DRV} \cdot \frac{R_M}{2} = 0.5V$$

（此结果忽略了变压器和电缆的损耗，这可能会降低幅度）。

isoSPI 脉冲详细信息

发送器可以输出三个电压电平： $+V_A$ 、0V 和 $-V_A$ 。通过负载电阻 R_M 的 IP 拉电流和 IM 灌电流产生正输出。IP 灌电流和 IM 拉电流产生负电压。当两路输出均关闭时，负载电阻迫使差分输出为 0V。为了消除直流信号成分并增强可靠性，isoSPI 使用两个不同脉冲长度的双极性脉冲。这样便可传输四类脉冲，如表 8 所示。+1 脉冲将作为正脉冲发送，之后是负脉冲。-1 脉冲将作为负脉冲发送，之后是正脉冲。每个脉冲的持续时间定义为 $t_{1/2PW}$ ，因为每个脉冲是所需对称对的一半。（总 isoSPI 脉冲持续时间为 $2 \cdot t_{1/2PW}$ ）。

串行接口

表 8. isoSPI 脉冲类型

脉冲类型	第一电平 ($t_{1/2PW}$)	第二电平 ($t_{1/2PW}$)	结束电平
长+1	$+V_A$ (150ns)	$-V_A$ (150ns)	0V
长-1	$-V_A$ (150ns)	$+V_A$ (150ns)	0V
短+1	$+V_A$ (50ns)	$-V_A$ (50ns)	0V
短-1	$-V_A$ (50ns)	$+V_A$ (50ns)	0V

应使用 LTC6820 将微控制器的 SPI 信号转换为 isoSPI 脉冲。在隔离栅的另一侧 (即在电缆的另一端), LTC2949 将把 IOVCC 绑定到其本地 GND。它接收发送的脉冲并在内部重建 SPI 信号, 如表 9 所示。另外, 在 READ 命令期间, 此端口可以发送返回数据脉冲, 这些脉冲在接收到脉冲的 t_{RTN} 时间后发送。LTC2949 isoSPI 端口是一个从端口, 仅发送“短-1”脉冲, 而不会发送长 CSB 脉冲或“短+1”脉冲。主端口将空响应识别为逻辑 1 (因此, 对读命令的无应答等效于 MISO 线上的只读 0xFF..., 这也会导致 PEC 错误, 参见“数据链接层”和以下章节)。

这样一来, 一条电缆上可以连接多个从器件而不会发生冲突 (多点)。图 11 为 READ 命令的 isoSPI 时序图。

表 9. LTC2949 isoSPI 端口功能

接收脉冲	内部 SPI 端口操作	返回脉冲
长+1	驱动 CSB 为高电平	无
长-1	驱动 CSB 为低电平	
短+1	1.设置 SDI = 1 2.脉冲 SCK	短-1 脉冲, 如果读取 0
短-1	1.设置 SDI = 0 2.脉冲 SCK	(无返回脉冲, 如果不处于 READ 模式或读取 1)

支持的总线结构

LTC2949 和 LTC68xx-2 电池监控器的寻址功能允许通过多点方案将不同地址的多个器件连接到单条总线上。SPI 或 isoSPI 中均可使用多点方案 (参见图 12 (A))。LTC2949 还能与 LTC68xx 电池监控器并联工作, 或作为其菊花链的最后一个元件 (参见图 12 (B&C))。

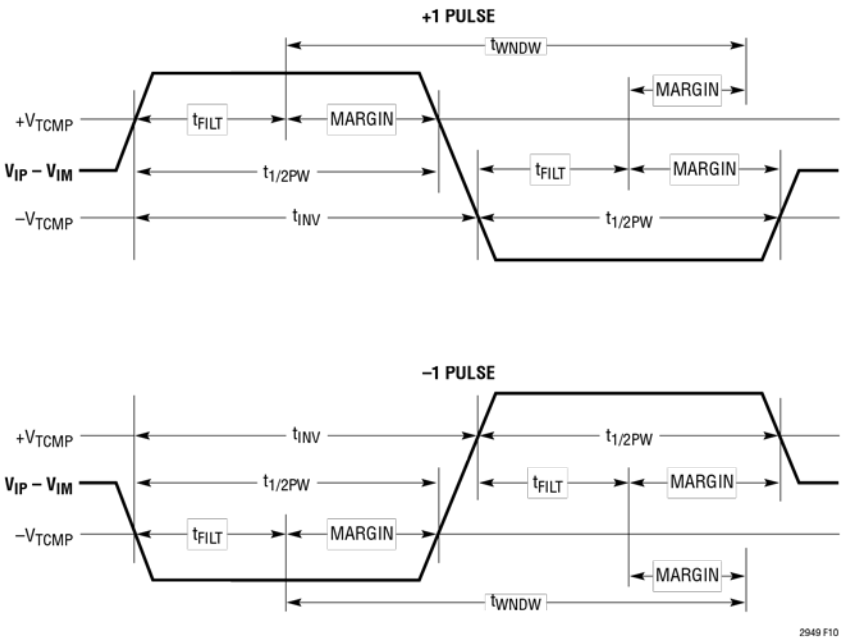


图 10. isoSPI 脉冲详细信息

串行接口

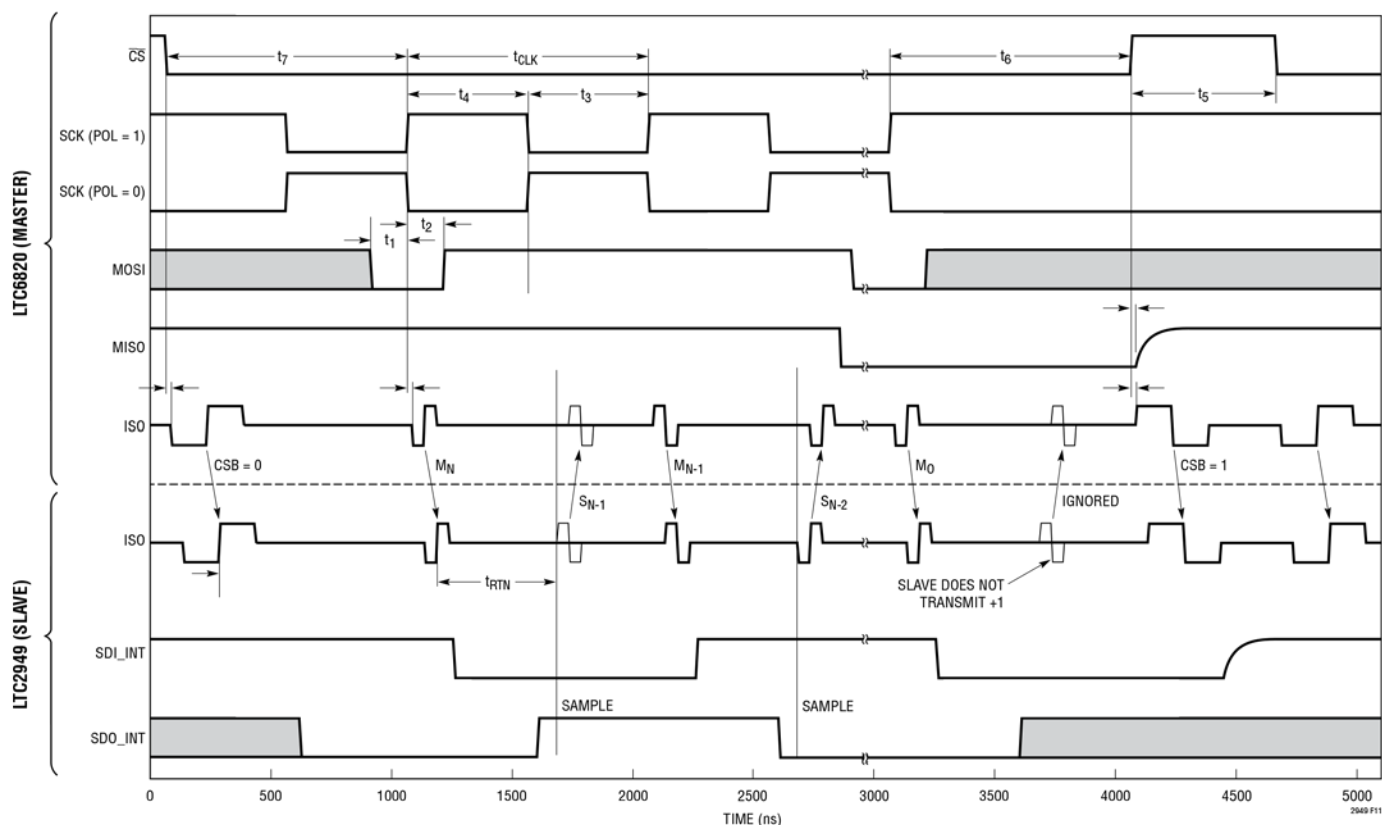


图 11. isoSPI 时序图

可寻址/多点总线配置的 LTC2949

在 SPI 模式下，LTC2949 可以直连主机；在 isoSPI 模式下，它可以通过 LTC6820 连接到主机。与 LTC68xx 电池监控器一起使用时，建议在多点总线配置中使用 LTC2949，以充分利用其全部特性，并最大限度地减少通信开销。LTC2949 可以与其他 LTC68xx 电池监控器工作在同一 SPI/isoSPI 上（图 12 (A、B)）。LTC2949 响应地址 0xF。该地址是硬连线的，不能更改。因此，必须将同一总线上的其他 LTC68xx 电池监控器通过引脚配置为其他地址。广播命令可以同时写入一条总线上的所有器件。此特性对于 LTC2949 和 LTC68xx 电池监控器的同步 ADC 转换很有用。通用 SDO 引脚为开漏，需要上拉电阻。

LTC2949 连接到可逆 isoSPI 环

LTC2949 可以连接到可逆 isoSPI 环的一端。在这种情形中，与 LTC2949 的默认通信是通过直接命令完成的，等效于 LTC2949 并行连接到菊花链的情况。如果左侧 LTC6820 和 LTC2949 之间的直接链路失效，则与 LTC2949 的通信可以通过菊花链右侧 LTC6820 路由，这等效于 LTC2949 连接在菊花链顶部的情况。

LTC2949 位于菊花链顶部

在 isoSPI 或普通 SPI 模式下，建议利用其寻址功能让 LTC2949 与 LTC68xx 电池监控器的菊花链并行运行。这是通信开销最小的模式。但是，它也支持作为菊花链的最后一个元件来运行。

串行接口

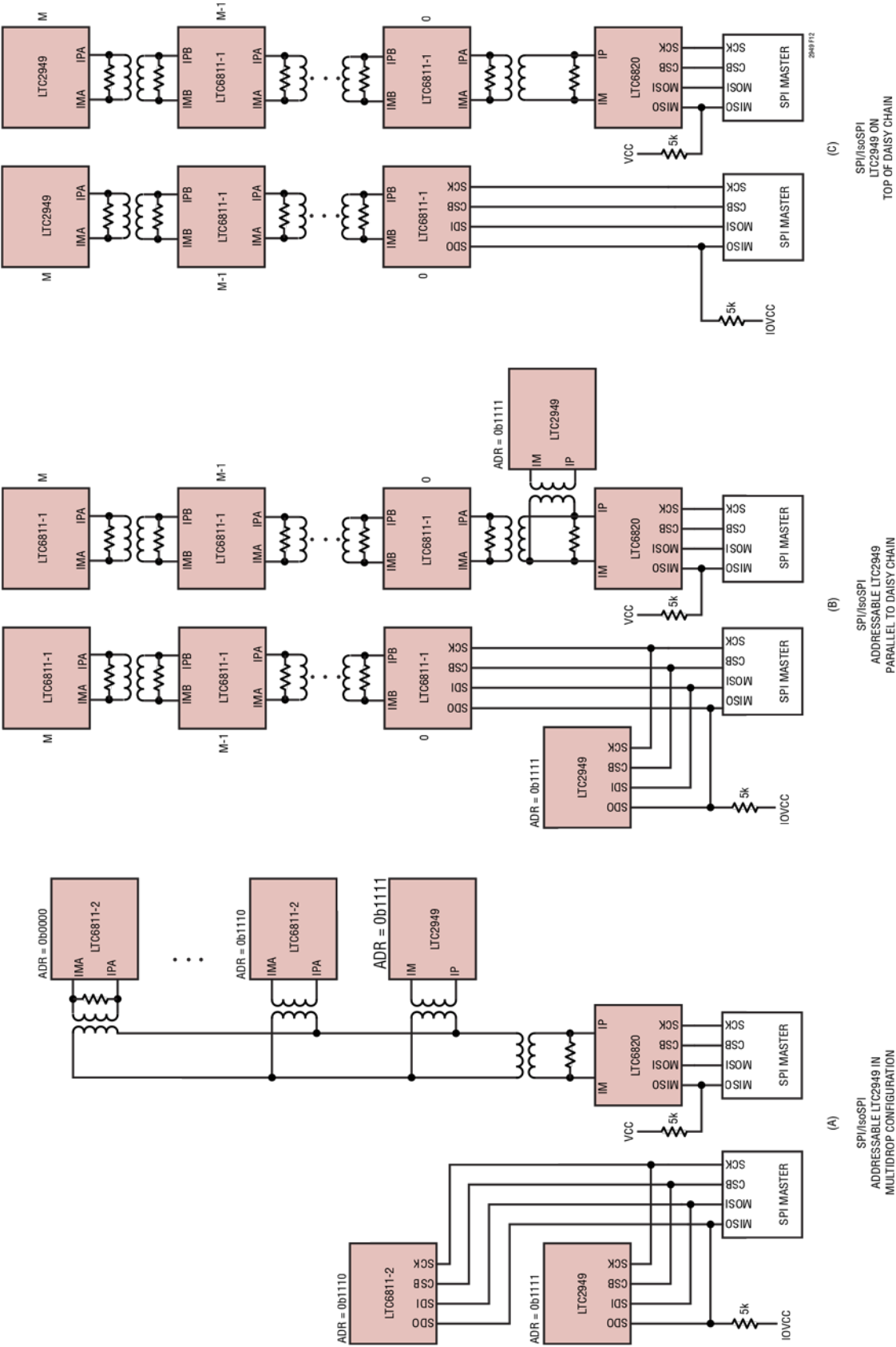


图 12. 支持的总线结构。这里的 LTC6811 是整个电池监控器系列 LTC681x 和 ADBM568xx 的一个例子, 该系列可与 LTC2949 一起运行。

串行接口

LTC2949 仅有一个 isoSPI 端口，因此必须将其作为菊花链中的最后一个（第 M 个）元件。第 0 个元件通过端口 A 与主机通信，端口 A 可以配置为 isoSPI 或普通 SPI 模式，具体取决于 ISOMOD 引脚的连接。第 0 个元件使用 isoSPI 通过端口 B 连接到菊花链的第一个元件，依此类推。当 LTC68xx 电池监控器以端口 A 为 SPI ($ISOMD = V^-$) 来运行时，SPI 会检测以下四个通信事件之一：CSB 下降，CSB 上升，SCK 上升 ($SDI = 0$)，SCK 上升 ($SDI = 1$)。每个事件均转换为四种脉冲类型之一，以便通过菊花链传输。长脉冲用于传输 CSB 变化，短脉冲用于传输数据，如表 8 所示。当两个端口均以 isoSPI 模式工作时，端口 A 上的 isoSPI 脉冲会在一个短延迟时间内传递到端口 B。

数据链接层

LTC2949 上的所有数据传输均以字节组进行。每个字节由 8 位组成。字节以最高有效位 (MSB) 优先方式进行传输。CSB 在命令序列的持续时间内（包括在命令字节和后续数据之间）必须保持低电平。处理正确的 PEC 之后，写入命令才会生效。

网络层

LTC2949 寄存器可以通过直接读/写命令 (DCMD) 访问，命令包含要写入或从中读取的

寄存器，之后是寄存器数据，参见下面的“直接读/写命令 (DCMD)”部分。除 DCMD 外，LTC2949 还支持 LTC68xx 电池监控器兼容命令 ADCV 和 RDCV。

当 LTC2949 是 isoSPI 菊花链中的最后一个元件时，DCMD 可用来写入 LTC2949，但不能从该器件读取数据，因为其他 LTC68xx 电池监控器不支持 DCMD，不会将数据从端口 B 传递到端口 A。因此，当 LTC2949 是菊花链的一个元件时，必须使用 RDCV 命令来读取数据。RDCV 命令的 LTC2949 寄存器读操作可以配置一个前置 DCMD。

表 10 总结了与 LTC2949 进行通信的可能性。

表 10. 与 LTC2949 通信

	与菊花链并联 LTC2949 独占	LTC2949 位于 菊花链顶部
读取寄存器	DCMD	广播 RDCV (RDCVCONF = 0, BCREN = 1)
写入寄存器	DCMD	
触发快速 ADC 转换	寻址 ADCV 广播 ADCV	
读取快速 转换结果	寻址 RDCV (RDCVCONF = 1, BCREN = 0)	广播 RDCV (RDCVCONF = 1, BCREN = 1)

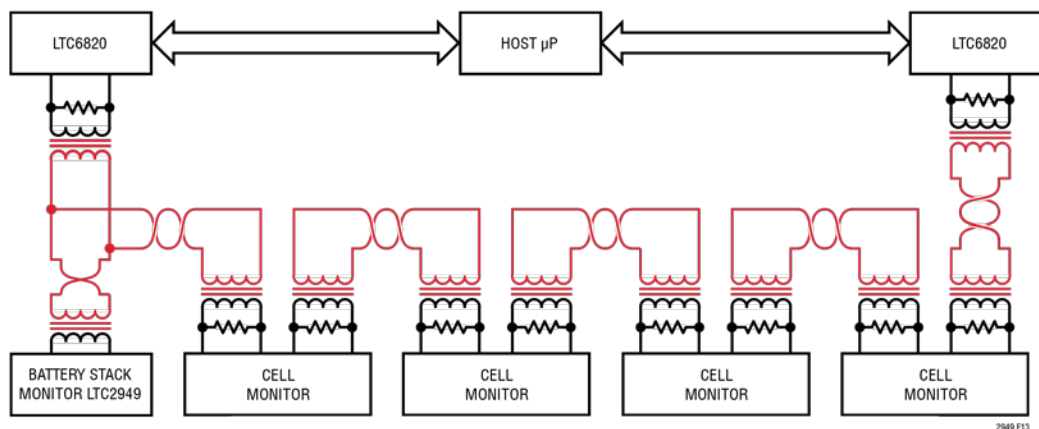


图 13. LTC2949 连接到可逆 isoSPI 环

串行接口

快速测量时序

以下时序图显示了 LTC2949 快速单次时序以及 LTC6810 用于测量所有六个单元的 ADCV 命令的时序。其他 LTC681x 电池监控器具有类似的时序图，只不过 ADC 和电池单元数量不同。LTC681x 器件有多种 ADC 模式，这些模式具有不同的滤波器带宽和精度。通常，在 7kHz 正常模式下，转换所有电池单元的时间窗口非常接近 LTC2949 的快速转换时间（标称 782μs）。例如，LTC6810 在正常模式下转换所有电池单元的时间为 815μs。

举例来说，LTC2949 的最多四个 ADC 中只有三个 (I2、BAT、AUX) 被配置为快速转换。显示的时间对任何允许的快速通道组合都有效。

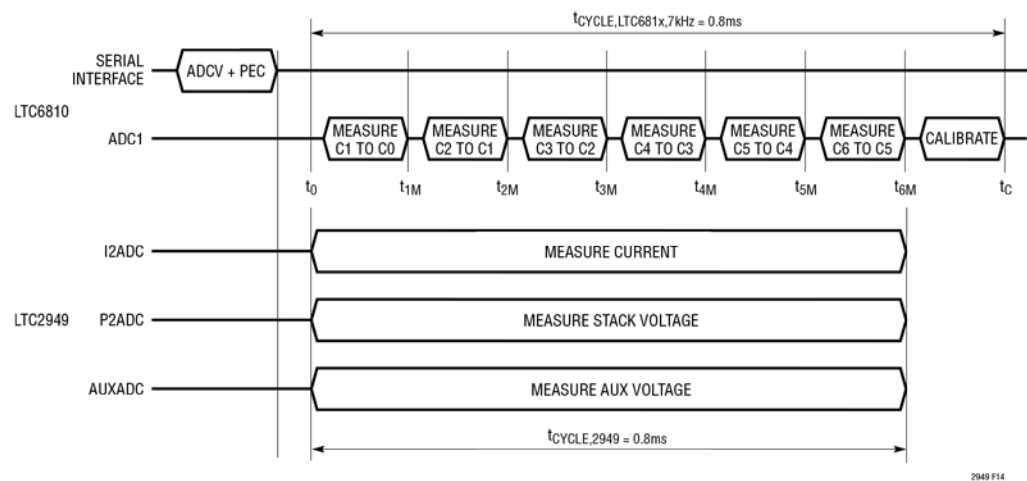


图 14. 测量电池电压以及 LTC2949 的电流和电压输入的 ADCV 命令的时序

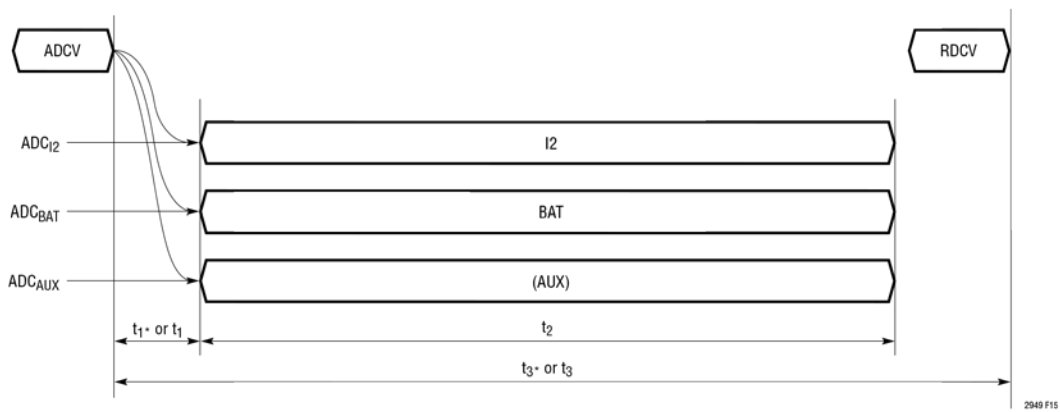


图 15. 测量电流和电压输入的 LTC2949 ADCV 命令的时序。

说明	参数	值/容差
ADVC 的最后一个 PEC 字节到开始转换的延迟时间，无 AUX 转换	t_1	6 至 8μs
ADVC 的最后一个 PEC 字节到开始转换的延迟时间，有 AUX 转换	t_{1^*}	6 至 170μs
转换时间	t_2	742 至 821μs
ADVC 的最后一个 PEC 字节到 HS = 0x0F (RDCV 读取的握手字节，表示转换结果已就绪，参见下面的注释)，无 AUX	t_3	855 至 945μs
ADVC 的最后一个 PEC 字节到 HS = 0x0F (RDCV 读取的握手字节，表示转换结果已就绪，参见下面的注释)，有 AUX	t_{3^*}	855 至 1260μs

串行接口

注释：如果 RDCV 数据的第一个 HS 字节为 0x0F，则该数据集的转换结果已经有效。如果 RDCV 数据的第一个 HS 字节为 0x00，则该数据集的转换结果无效。必须发出新的 RDCV 命令来检查转换结果是否更新。如果 RDCV 数据的第一个 HS 字节为 0x00，则主机可以继续读取 HS 字节，直到它变为 0x0F。接下来的 RDCV 命令肯定会有有效的转换结果，但是，该数据集的 HS 字节将为 0x00，因为在上一个 RDCV 中读取 0x0F 之后，该字节已在内部被清零。

下图显示了 LTC2949 快速连续转换时序的详细信息。快速连续操作由直接写入命令开始，该命令设置 FACONV 位和寄存器 FACTRL 中的至少一个通道位 (CH1、CH2、AUX)。

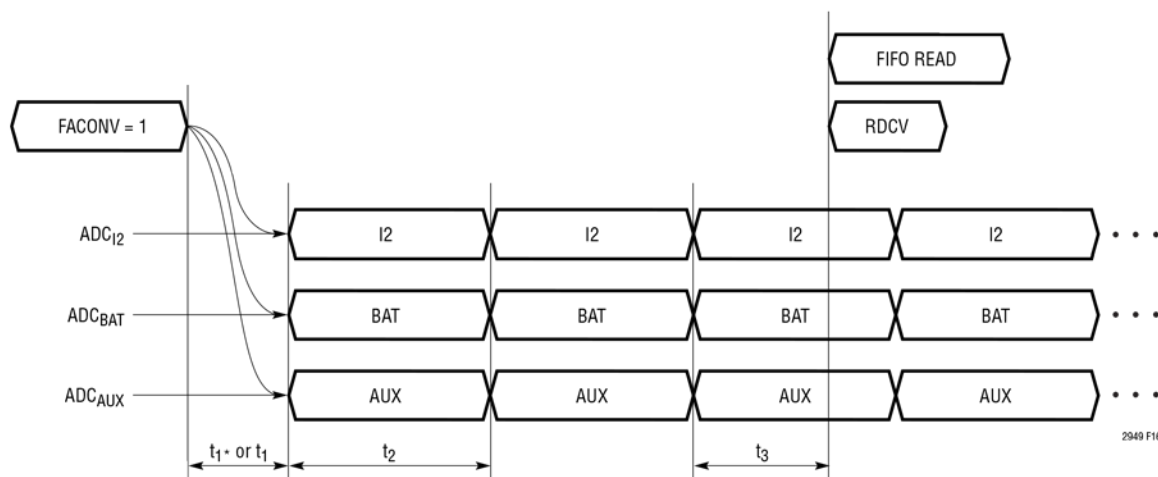


图 16. LTC2949 快速连续电流和电压测量的时序。

说明	参数	值/容差
直接写操作的最后一个 PEC 字节到开始转换的延迟时间，无 AUX 转换	t_1	6 至 8 μ s
直接写操作的最后一个 PEC 字节到开始转换的延迟时间，有 AUX 转换	t_{1*}	6 至 170 μ s
转换时间	t_2	742 至 821 μ s
任何样本开始转换到 HS = 0x0F (RDCV 读取的握手字节，表示转换结果已就绪)，或到样本可通过 FIFO 读操作获得	t_3	0 至 315 μ s

串行接口

快速 AUX 测量

在快速连续模式 (FCM) 测量期间，无法更改 AUX MUX 配置。可以随时写入 FAMUXP、FAMUXN 并读取相同的值，但是只有收到新的快速转换请求，内部 MUX 才会被设置为请求的配置。这要么是 ADCV 命令以进行快速单次转换 (FSSHT)，要么是 FACONV 位从 0 变为 1 以进行 FCM 测量。

离开 FCM (FACONV = 0) 时，主机必须等待上一次转换完成，然后才能触发任何新的快速转换。这可以通过等待至少 1.26 ms 来实现。

如果两个通道均配置为快速模式，则必须确保 FCM 保持活动至少 128 个样本，或者禁止 FSSHT 测量至少 100ms。只有在每 128 个样本 /100 ms 之后，慢速通道寄存器 (包括 STATUS、FAULTS、EXTFAULTS) 才会更新。在需要定期使能和禁用 FACONV 或执行重复 FSSHT 测

量的应用中，建议将 CH1 配置为慢速模式，将 CH2 配置为快速模式，以确保慢速通道得到定期更新。

快速 AUX 循环测量

FSSHT 测量应当用于需要通过 AUX MUX 以高更新速率 (快于 100 ms) 提供不同输入的应用中。FSSHT 测量可以被 FCM 周期包围，在此期间连续转换单个 MUX 输入。FCM 周期的转换结果可以通过 FIFO 寄存器或 RDCV 读取。任何时候都可以从 FIFO 中读取转换结果。不过，FSSHT 触发命令 (当 CONT = 1 且 FACTRL 不等于零时为 ADCV) 将清空所有 FIFO。

下表显示了由 4 个 FSSHT 测量 (其中断一个 FCM 周期) 组成的示例序列。如果仅需要 FSSHT 测量，可以省略 CONT0、CONT1 行。

名称	MOSI/MISO	说明
CONT0	MOSI:FEF5EB50400EE4C6 MISO:XXXXXXXXXXXXXXXXXX	写入 FACTRL 以禁用 FCM (FACONV = 0)
MUX0	MOSI:FEF3C7984500013D6E MISO:XXXXXXXXXXXXXXXXXX	将两个字节写入 FAMUXN 以选择 V1 与 GND (NTC)
ADCV	MOSI:FB60FADE MISO:XXXXXXXXXX	ADCV 触发转换
RDCV	MOSI:F8040970FFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFF MISO:XXXXXXXX010000000000FE4AE8180F0F0F0FC602	RDCV 读取转换结果
MUX1	MOSI:FEF3C798450016C1BA MISO:XXXXXXXXXXXXXXXXXX	将两个字节写入 FAMUXN 以选择 VREF2 与 GND
ADCV	MOSI:FB60FADE MISO:XXXXXXXXXX	ADCV 触发转换
RDCV	MOSI:F8040970FFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFF MISO:XXXXXXXX000000000000C212610F0F0F0F0F76B6	RDCV 读取转换结果
MUX2	MOSI:FEF3C7984517007512 MISO:XXXXXXXXXXXXXXXXXX	将两个字节写入 FAMUXN 以选择 GND 与 VREF2_250k
ADCV	MOSI:FB60FADE MISO:XXXXXXXXXX	ADCV 触发转换
RDCV	MOSI:F8040970FFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFF MISO:XXXXXXXX000000000000C212E7180F0F0F0F1A78	RDCV 读取转换结果

串行接口

名称	MOSI/MISO	说明
MUX3	MOSI:FEF3C7984500174A88 MISO:XXXXXXXXXXXXXXXXXX	将两个字节写入 FAMUXN 以选择 VREF2_250k 与 GND
ADCV	MOSI:FB60FADE MISO:XXXXXXXX	ADCV 触发转换
RDCV	MOSI:F8040970FFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFF MISO:XXXXXXXX000000000000C2121AE70F0F0F7C26	RDCV 读取转换结果
MUXCONT	MOSI:FEF3C79845111294A6 MISO:XXXXXXXXXXXXXXXXXX	将两个字节写入 FAMUXN 以选择 CF2P 与 CF2M (在 FCM 期间必须进行开路检查)
CONT1	MOSI:FEF5EB50400F6FF4 MISO:XXXXXXXXXXXXXXXXXX	写入 FACTRL 以使能 FCM (FACONV = 1)

注释 1: MISO 数据仅作为例子显示，实际数据可能不同。“X”表示无关数据。

注释 2: ADCV 和 RDCV 之间必须有 ≥ 1.26 ms 的延迟，以确保转换结果读数有效。

注释 3: 以上 MUX 设置以三种不同方式转换一个外部引脚电压 V1 与 GND 以及内部 VREF2。此示例可以调整并扩展为任何需要的 MUX 配置。

串行接口

直接读/写命令 (DCMD)

为了访问 LTC2949 的完整寄存器映射，该器件提供了一个特殊的直接命令 (DCMD)，其他 LTC68xx 电池监控器则不使用此命令。DCMD 允许读写 LTC2949 寄存器映射中的任意数量字节。LTC2949 在每个数据字节之后自动递增其地址指针，因此单次处理中可以写入/读取多个寄存器。1 到 16 字节的数据包与 2 字节的数据 PEC 交错。写入没有 PEC 的数据包会被丢弃。读取命令可以在任何字节处停止。

表 11. 直接读/写命令格式

字节	0	1	2	3	4	5	...	N+4	N+5	N+6	N+7	...	2N+6	2N+7	2N+8	...
R/W	主机到从机 (MOSI)					写命令：主机到从机 (MOSI) 读命令：从机到主机 (MISO)										
名称	DCMD	RADDR	PEC0	PEC1	ID	DATA ₀	...	DATA _{N-1}	PEC0	PEC1	DATA _N	...	DATA _{2N-1}	PEC0	PEC1	...

ID 字节用于区分读和写命令，它定义每个 PEC 的数据字节数（上表中的参数 N）。ID 字节不是任何 PEC 的一部分，它有自己的错误检测机制，通过冗余和错误校验位实现。有关详细信息，请参见下面的表格。

表 12. 字节 ID[7:0] 的位定义

ID[7]	ID[6]	ID[5]	ID[4]	ID[3]	ID[2]	ID[1]	ID[0]
RW	NOT RW	PECC[3] XOR PECC[2]	PECC[3]	PECC[2]	PECC[1] XOR PECC[0]	PECC[1]	PECC[0]

表 13. ID[7:0] 字节格式说明

名称	说明
RW	ID[7] = RW 表示读 (RW = 1) 或写 (RW = 0) 命令。为了安全传输数据，ID[6] 增加了冗余，它是 RW 的逆 (NOT RW, 0 为读，1 为写)。
PECC[3:0]	“PEC 配置”决定传输多少数据字节之后传输一个 PEC。数据字节数为 DECIMAL (PECC[3:0]) + 1 (上表中的参数 N)。PECC 允许的值为 0 到 15 (每个 PEC 1 到 16 个数据字节)。ID[5] (= PECC[3] XOR PECC[2]) 和 ID[2] (= PECC[1] XOR PECC[0]) 是用于安全数据传输的错误校验位。

表 14. 直接读/写命令格式详情

名称	说明
DCMD[7:0]	直接命令。它有固定值 0xFE。
RADDR[7:0]	读写数据的起始寄存器地址。
PEC0,1	根据 CAN BUS CRC15，数据包错误码字节 PEC0 和 PEC1 含有一个 15 位 CRC，其右边用 0 填充 (参见表 22 写入/读取 PEC 格式)。字节 2-3 中的 PEC 是对 CCMD 和 RADDR 计算。随后的所有 PEC 都是对前 M 个数据字节计算。每个 PEC 的数据字节数由 ID 字节定义，它不属于任何 PEC，参见下文。 对于读取命令，MOSI 线为无关线路，从机将在其 MISO 线上发送数据 PEC，而主机必须将其与依据接收到的数据计算出的 PEC 进行比较。两个 PEC 一致说明读取命令成功。对于写入命令，主机必须在其 MOSI 线上发送 PEC，LTC2949 会将接收到的 PEC 与内部计算出的 PEC 进行比较。如果 PEC 不匹配，就会丢弃数据，FAULTS 寄存器中的外部通信 PEC 错误 (EXTCOMMERR) 将被置位。
DATA _x	要发送到 LTC2949 寄存器映射或从中读取的数据字节。起始地址由 RADDR 给出，对每个数据字节自动递增。

串行接口

与 LTC68xx 电池监控器兼容的命令 (RDCV、ADCV)

LTC2949 支持多个与 LTC68xx 电池监控器兼容的 RDCV 和 ADCV 样式命令。RDCVA-RDCVF、RDAUXA-RDAUXD、RDCFGA、RDCFGB (在本文中统称为 RDCV 命令)、ADCV、ADOW、ADOL、ADAX、ADAXD、ADCVAX 和 ADCVSC (在本文中统称为 ADCV 命令) 可作为广播和寻址命令。寻址命令专门用于寻址 LTC2949。为了同时触发 LTC2949 和 LTC68xx 电池监控器上的操作, 应使用广播命令。例如, 这可以用来同时启动多个器件的 ADC 转换。无论 LTC2949 是与菊花链并联, 还是位于菊花链的顶部, 寻址 ADCV 命令只能触发 LTC2949 上的测量, 而广播 ADCV 命令可以让 SPI/isoSPI 总线上连接的所有器件执行同步 ADC 转换。转换在所有器件的 PEC 结束时开始。

如果 LTC2949 与菊花链并联, 则必须使用直接读取命令 (DCMD) 来读取寄存器数据, 并且必须使用寻址 RDCV 命令 (RDCVCONF = 1) 来读取最后的快速转换结果。如果将 LTC2949 连接在菊花链的顶部, 则必须使用广播 RDCV 命令读取寄存器数据 (RDCVCONF = 0) 或读取最后的快速转换结果 (RDCVCONF = 1), 具体取决于 REGSCTRL.RDCVCONF 的设置。对 LTC2949 寄存器映射的写操作始终使用直接写入命令 (DCMD) 来完成, 而无需考虑总线拓扑。有关所有可能通信方案的总结, 参见表 10 (与 LTC2949 进行通信)。

在 LTC2949 对 ADCV 命令作出反应之前, 它必须在慢速连续测量模式 (OPCTRL 中的 CONT 位) 下运行, 并且必须通过快速控制寄存器 (FACTRL) 选择至少一个快速测量通道; 也可以通过功率 ADC 之一进行快速 BAT 转换 (P1 或 P2 处于电压模式), 这要求设置 ADC 配置寄存器 (ADCCONF) 中的 P1ASV 和/或 P2ASV。如果 LTC2949 以快速连续模式 (FACONV = 1) 运行, 则任何 ADCV 命令都会

被忽略, 采集的样本可以从 FIFO 寄存器 (FIFOI1、FIFOI2、FIFOBAT 和 FIFOAUX) 读取。不过, 在这种模式下, 也可以通过 RDCV (RDCVCONF = 1) 读取最后的快速转换结果。如果禁用了快速连续模式 (FACONV = 0), 则任何 ADCV 命令都会清空所有 FIFO。如果需要, 应先读取 FIFO 中的样本, 再发送 ADCV 命令, 同时将 FACONV 清零。

在 LTC2949 位于菊花链顶部的配置中, 发出广播 RDCV 命令之后, 堆叠的 LTC68xx 电池监控器变为级联移位寄存器, 其中的数据通过各器件转移到堆叠中的下一个器件。在这种情况下, 只有设置了寄存器控制寄存器 (REGSCTRL) 中的广播读取使能位 (BCREN), LTC2949 才会响应 RDCV 命令。

在 LTC2949 与 LTC68xx 电池监控器的菊花链并联的情况下, 必须将 BCREN 位清零 (默认值) 以避免总线冲突。但是, 如果 RDCVCONF 位置 1, 则无论是否设置 BCREN, 任何广播 RDCV 都可以清除 LTC2949 的内部 HS 字节 (见下文)。因此, 建议先读取 LTC2949 的快速转换结果, 再读取 LTC68xx 电池监控器。或者, 如果由于软件时序原因, 需要首先读取 LTC68xx 电池监控器, 则必须先将 RDCVCONF 位清零 (此后必须再次将其置 1, 以便从 LTC2949 读取快速转换数据)。

任何快速转换的最后结果都可以通过 RDCV 命令读出, 依次提供 I1、I2、BAT 和 AUX 的结果 (最低有效字节优先, 以与 LTC68xx 电池监控器兼容), 然后是一个或多个握手 (HS) 字节, 表示数据是新的 (0x0F) 还是旧的 (0x00)。一旦 LTC2949 发送 HS 字节, 只要主机在读取字节, 它就会一直发送。尽管如此, 仍然会每隔 6 个数据字节发送一次 PEC。对于每次处理, HS 字节只能从 0x00 变为 0x0F; 一旦为 0x0F, 它就不会改变。这使得主机可以通过检查 HS 字节从 0x00 转换到 0x0F 来轮询转换结果是否准备就绪。如果第一个 HS 字节为 0x0F, 则该命令接收到的转换数据已经是新的有效数据。

串行接口

如果第一个 HS 字节为 0x00，则同一处理中接收到的数据尚未更新。随后还需要一个 RDCV 命令来读取更新的转换结果，但对于此 RDCV 命令，报告的 HS 字节仍为 0x00，因为先前的 RDCV 读取 0x0F 之后，其已在内部被清零。

LTC2949 的快速转换时间典型值为 0.8ms。为使结果准备好被主机读取，还需要额外的处理时间。最坏的情况是，在触发转换后 1.26 ms，结果才能通过 FIFO 寄存器（在快速连续模式下）或通过 RDCV 命令读取。对于快速单次测量，这会把最大保证采样速率限制为约 0.8ksps。

对于快速连续测量，采样速率固定为 1.25ksps，上述延迟只是实际测量与样本可供读取的时间之间的延迟时间。从使能快速连续模式到第一次读取 FIFO 寄存器，主机应等待至少 1.26ms 才能从 FIFO 中读取第一个样本。或者，也可以使用 RDCV 命令检查第一个样本何时就绪（参见上面的 HS 字节），然后定期从 FIFO 寄存器中读取所有样本。

表 15.ADCV/RDCV 样式命令的格式。仅针对 RDCV 命令，从机通过 MISO 线向主机发送数据

字节	0	1	2	3	4	...	9	10	11	12	...	17	18	19	...
R/W	主机到从机 (MOSI)				从机到主机 (MISO)										
名称	CMD0	CMD1	PEC0	PEC1	DATA0	...	DATA6	PEC0	PEC1	DATA7	...	DATA11	PEC0	PEC1	...

CMD0 和 CMD1 是命令字节。表 16 显示了命令的格式。CC[10:0] 为 11 位命令代码。表 17 和表 18 列出了支持的命令代码。对于 CMD0[7] 至 CMD0[3]，广播命令的值为 0，寻址命令的值为 1。PEC 必须对整个 16 位命令 (CMD0 和 CMD1) 进行计算。

表 16.CMD0、CMD1 命令字节格式。数据从主机发送到从机 (MOSI)。对于广播命令，A/B 为 0；对于寻址命令，A/B 为 1。

名称	位 7	位 6	位 5	位 4	位 3	位 2	位 1	位 0
CMD0	A/B	A/B	A/B	A/B	A/B	CC[10]	CC[9]	CC[8]
CMD1	CC[7]	CC[6]	CC[5]	CC[4]	CC[3]	CC[2]	CC[1]	CC[0]

串行接口

表 17. ADCV 样式命令。收到这些命令后，LTC2949 根据 FACTRL/ADCCONF 寄存器执行快速转换

名称	CMD0[7:3]	CC[10:0]	说明
ADCV	广播: 全 0	01xx11x0xxx	LTC2949 以相同方式对所有命令作出反应，即触发快速转换 (若已通过 FACTRL 寄存器使能)。
ADOW	寻址: 全 1	01xxx1x1xxx	
ADOL		01xx00x0001	
ADAX		10xx1100xxx	
ADAXD		10xx0000xxx	
ADCVAX		10xx11x1111	
ADCVSC		10xx11x0111	

表 18. RDCV 样式命令。用于读取快速转换结果，或用于从 LTC2949 间接读取存储器映射

名称	CMD0[7:3]	CC[10:0]	说明
RDCFGA	广播: 全 0	00000000010	LTC2949 以相同方式对所有命令作出反应，即发送快速转换结果 (默认值，RDCVCONF = 1)，或发送寄存器数据 (RDCVCONF = 0)。
RDCFGB	寻址: 全 1	00000100110	
RDCVA		00000000100	
RDCVB		00000000110	
RDCVC		00000001000	
RDCVD		00000001010	
RDCVE		00000001001	
RDCVF		00000001011	
RDAUXA		00000001100	
RDAUXB		00000001110	
RDAUXC		00000001101	
RDAUXD		00000001111	

串行接口

RDCV 命令允许读取数据包的时间比菊花链移位寄存器长得多。移位寄存器的长度为 $64 \cdot M$ 位，M 是链中除 LTC2949 之外的元件数。根据下图，从位 I1[7] 开始，经过 $64 \cdot M$ 个数据位之后，主机从 LTC2949 接收数据。每 6 个数据字节计算一次 PEC。传输转换结果之后，LTC2949 继续发送握手字节 (HS)，指示数据是新数据 (0x0F) 还是旧数据 (0x00)。握手字节从 0x00 变为 0x0F 表示新数据到来，可以通过随后的 RDCV 命令将其读出。

表 19. RDCV 命令格式。依据表 18 (RDCV 样式命令) 的 CMD0、CMD1。要求 RDCVCONF = 1。

CMD0	CMD1	PEC0	PEC1	I1[7:0]	I1[15:8]	I2[7:0]	I2[15:8]	BAT[7:0]
BAT[15:8]	PEC0	PEC1	AUX[7:0]	AUX[15:8]	HS	HS	HS	HS
PEC0	PEC1	HS	HS	HS	HS	HS	HS	PEC0
PEC1	HS	HS	HS	HS	HS	HS	

注释：转换结果 I1、I2、BAT、AUX 通过乘以 LSB 大小 7.60371μV (对于电流) 或 375.183μV (对于 BAT 和 AUX 通道) 转换为伏特。

间接存储器访问 RDCV 命令

DCMD 是在可寻址模式下从 LTC2949 读取数据的推荐方法。当 LTC2949 是菊花链中的最后一个元件时，必须使用 RDCV 从 LTC2949 读取数据，因为 LTC68xx 电池监控器不支持 DCMD，不会将其配置为移位寄存器。默认情况下，LTC2949 会响应 RDCV，提供快速模式转换结果，如上所述 (RDCVCONF = 1)。

为了能够访问 LTC2949 的整个寄存器映射，可以设置一个地址指针，使 LTC2949 响应随后的 RDCV 命令，从该寄存器地址开始提供数据。要使用此间接存储器访问 RDCV 命令，必须重置 RDCV 配置位 (RDCVCONF)，设置 REGSCTRL 中的广播读取使能位 (BCREN)，并将起始指针写入 RDCV 间接地址寄存器 (RDCVIADDR)。这样，随后的 RDCV 命令便可读取任何寄存器。地址指针在每个数据字节之后会自动递增，支持读取任意长度的突发数据。每 6 个数据字节发送一次 PEC。一旦写入 REGSCTRL，只有间接地址寄存器需要更新，以便读取其他存储器位置。

请注意，如果使用从 RDCVIADDR 到 REGSCTRL 的单个 DCMD，也可以在 REGSCTRL 之前写入 RDCVIADDR。对于该单个写入突发操作，RDCVIADDR 和 REGSCTRL 之间的两个字节为无关节节，可以写入 0x00。

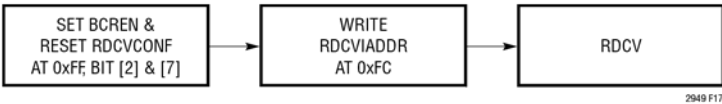


图 17. 使用 RDCV 命令的间接存储器访问读取过程

表 20. 依据表 18 (RDCV 样式命令) 的间接地址 RDCV 命令格式 CMD0、CMD1，要求 RDCVCONF = 0 且 BCREN = 1

CMD0	CMD0	PEC0	PEC1	DATA ₀	DATA ₁	DATA ₂	DATA ₃	DATA ₄
DATA ₅	PEC0	PEC1	DATA ₆	DATA ₇	DATA ₈	DATA ₉	DATA ₁₀	DATA ₁₁
PEC0	PEC1						

DATA₀ 为写入 RDCVIADDR 的起始地址寄存器的内容。DATA₁ 为后续地址寄存器的内容，依此类推。

串行接口

数据包错误码

数据包错误码 (PEC) 是一个 15 位循环冗余校验 (CRC) 值, 针对一组寄存器中的所有位按传送顺序计算, 使用的初始 PEC 种子值为 000000000010000, 特征多项式为: $x^{15} + x^{14} + x^{10} + x^8 + x^7 + x^4 + x^3 + 1$ 。为了计算 15 位 PEC 值, 可以建立一个简单的过程:

1. 将 PEC 初始化为 000000000010000 (PEC 是 15 位寄存器组)
2. 对于进入 PEC 寄存器组的每一位 DIN, 设置
 - IN0 = DIN XOR PEC [14]
 - IN3 = IN0 XOR PEC [2]
 - IN4 = IN0 XOR PEC [3]
 - IN7 = IN0 XOR PEC [6]
 - IN8 = IN0 XOR PEC [7]
 - IN10 = IN0 XOR PEC [9]
 - IN14 = IN0 XOR PEC [13]
3. 更新 15 位 PEC, 如下所示:
 - PEC [14] = IN14,
 - PEC [13] = PEC [12],
 - PEC [12] = PEC [11],
 - PEC [11] = PEC [10],
 - PEC [10] = IN10,
 - PEC [9] = PEC [8],
 - PEC [8] = IN8,
 - PEC [7] = IN7,
 - PEC [6] = PEC [5],
 - PEC [5] = PEC [4],
 - PEC [4] = IN4,
 - PEC [3] = IN3,
 - PEC [2] = PEC [1],
 - PEC [1] = PEC [0],
 - PEC [0] = IN0

4. 返回第 2 步, 直到所有数据移位完毕。最终的 PEC (16 位) 是 PEC 寄存器中的 15 位值, 右边填充 0。表 21 列出了一个计算 16 位字 (0x0001) 的 PEC 的例子。LSB 填充 0 位后, 0x0001 的 PEC 计算结果为 0x3D6E。对于更长的数据流, 发送到 PEC 寄存器的数据的最后一位结束时, PEC 有效。LTC2949 为收到的任何命令或数据计算 PEC, 并将其与该命令或数据之后的 PEC 进行比较。只有 PEC 匹配, 命令或数据才被视为有效。移出数据时, LTC2949 也会将计算出的 PEC 附加到数据末尾。表 22 显示了写入或读取 LTC2949 时 PEC 的格式。

串行接口

表 21. 0x0001 的 PEC 计算

PEC[14]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0
PEC[13]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0
PEC[12]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	1	1
PEC[11]	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1
PEC[10]	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1
PEC[9]	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
PEC[8]	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0
PEC[7]	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1
PEC[6]	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
PEC[5]	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
PEC[4]	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1
PEC[3]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0
PEC[2]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
PEC[1]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
PEC[0]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
IN14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0		0
IN10	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1		PEC 字
IN8	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0		
IN7	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1		
IN4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1		
IN3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0		
IN0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1		
DIN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1		
时钟周期	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16		

表 22. 写入/读取 PEC 格式

名称	RD/WR	位 7	位 6	位 5	位 4	位 3	位 2	位 1	位 0
PEC0	RD/WR	PEC[14]	PEC[13]	PEC[12]	PEC[11]	PEC[10]	PEC[9]	PEC[8]	PEC[7]
PEC1	RD/WR	PEC[6]	PEC[5]	PEC[4]	PEC[3]	PEC[2]	PEC[1]	PEC[0]	0

改进的 PEC 计算

PEC 使用户可以确信,从 LTC2949 读取的串行数据是有效的,没有被任何外部噪声源破坏。这是实现可靠通信的关键特性, LTC2949 要求对所有从 LTC2949 读取和写入其中的数据计算 PEC。因此,必须有一种高效的 PEC 计算方法。下面的代码演示了一种从查找表派生的 PEC 计算方法的简单实现。有两个函数,第一个函数

init_PEC15_Table() 只应在微控制器启动时调用一次, 初始化一个称为 pec15Table[] 的 PEC15 表数组。此表将在以后的所有 PEC 计算中使用。也可以将 pec15 表硬编码到微控制器中, 而不是在启动时运行 init_PEC15_Table() 函数。pec15() 函数计算 PEC, 返回任何给定长度的字节数组的正确 15 位 PEC。

串行接口

```
/******
```

Copyright 2012 Linear Technology Corp. (LTC)

Permission to freely use, copy, modify, and distribute this software for any purpose with or without fee is hereby granted, provided that the above copyright notice and this permission notice appear in all copies:

THIS SOFTWARE IS PROVIDED "AS IS" AND LTC DISCLAIMS ALL WARRANTIES INCLUDING ALL IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY AND FITNESS. IN NO EVENT SHALL LTC BE LIABLE FOR ANY SPECIAL, DIRECT, INDIRECT, OR CONSEQUENTIAL DAMAGES OR ANY DAMAGES WHATSOEVER RESULTING FROM ANY USE OF SAME, INCLUDING ANY LOSS OF USE OR DATA OR PROFITS, WHETHER IN AN ACTION OF CONTRACT, NEGLIGENCE OR OTHER TORTUOUS ACTION, ARISING OUT OF OR IN CONNECTION WITH THE USE OR PERFORMANCE OF THIS SOFTWARE.

```
*****/
```

```
int16 pec15Table[256];
int16 CRC15 POLY = 0x4599;
void init_PEC15_Table()
{
    for (int i = 0; i < 256; i++)
    {
        remainder = i << 7;
        for (int bit = 8; bit > 0; --bit)
        {
            if (remainder & 0x4000)
            {
                remainder = ((remainder << 1));
                remainder = (remainder ^ CRC15poly)
            }
            else
            {
                remainder = ((remainder << 1));
            }
        }
        pec15Table[i] = remainder&0xFFFF;
    }
}



unsigned int16 pec15 (char *data , int len)
{
    int16 remainder,address;

    remainder = 16;//PEC seed
    for (int i = 0; i < len; i++)
    {
        address = ((remainder >> 7) ^ data[i]) & 0xff;//calculate PEC table address
        remainder = (remainder << 8 ) ^ pec15Table[address];
    }
    return (remainder*2);//The CRC15 has a 0 in the LSB so the final value must be multiplied by 2
}
```


寄存器映射

PAGE 0															
0x0	0x1	0x2	0x3	0x4	0x5	0x6	0x7	0x8	0x9	0xA	0xB	0xC	0xD	0xE	0xF
		C1						E1					TE1		
		0x0						0x0					0x0		
0x10		C2						E2					TE2		
		0x0						0x0					0x0		
0x20													TE3		
													0x0		
0x30													TE4		
													0x0		
0x40		IMAX		PIMAX		PIMIN		QMAX		QMIN		P2MAX		P2MIN	
		0x000		0x000		0x7FFF		0x000		0x7FFF		0x000		0x7FFF	
0x50		BATMIN		TEMPMIN				VCCMIN				SLOT1MAX		SLOT1MIN	
		0x000		0x7FFF				0x000		0x7FFF		0x000		0x7FFF	
0x60		SLOT2MAX													
		0x000		0x7FFF											
0x70		WKUPACK													
		0x0													
0x80		STATUS		STATIP		STATC		STATB		STATVOC		STATM		STATB	
		0x0		0x0		0x0		0x0		0x0		0x0		0x0	
0x90															
0xA0		BAT		TEMP				SLOT1							
		0x0		0x0				0x0							
0xB0		IZAVG													
		0x0													
0xC0		IZAVG													
		0x0													
0xD0															
0xE0		ACCCTRL1		ACCCTRL2		ACCIDB		F2AGCVM		F2AGCVH		F2AGCVL		SLOT2MUX	
		0x0		0x0		0x0		0x0		0x0		0x0		0x0	
0xF0		FOURPROC		FOURPROC		FAMUXP		FFO1		FFO2		FFO3		REGSC	
		0x0		0x0		0x0		0x0		0x0		0x0		0x0	

PAGE 1															
0x0	0x1	0x2	0x3	0x4	0x5	0x6	0x7	0x8	0x9	0xA	0xB	0xC	0xD	0xE	0xF
0x10		CTH						CTIL					TE1H		
		0x7FFFFFFF						0x00000000					0x7FFFFFFF		
0x20		ETH						ETIL							
		0x7FFFFFFF						0x00000000							
0x30		CTH						CTIL					TE2H		
		0x7FFFFFFF						0x00000000					0x7FFFFFFF		
0x40		ETH						ETIL							
		0x7FFFFFFF						0x00000000							
0x50															
0x60		IS01		IS02		IS03PT									
		0x0		0x0		0x0									
0x70		ITTH		ITTL											
		0x7FFF		0x000											
0x80		BATH		BATL											
		0x7FFF		0x000											
0x90		SLOTH		SLOTH											
		0x7FFF		0x000											
0xA0		RS1G		RS2G		RS3G		RS4G		RS5G		RS6G		RS7G	
		0x0000		0x0000		0x0000		0x0000		0x0000		0x0000		0x0000	
0xB0		MUX1G		MUX2G		MUX3G		MUX4G		MUX5G		MUX6G		MUX7G	
		0x0000		0x0000		0x0000		0x0000		0x0000		0x0000		0x0000	
0xC0		NTC1A		NTC1B		NTC1C		NTC1D		NTC1E		NTC1F		NTC1G	
		0x0		0x0		0x0		0x0		0x0		0x0		0x0	
0xD0		NTC2A		NTC2B		NTC2C		NTC2D		NTC2E		NTC2F		NTC2G	
		0x0		0x0		0x0		0x0		0x0		0x0		0x0	

 = reserved registers can be used to store custom data to external EEPROM
 = registers can be used to store custom data to external EEPROM, if they are initialized by the host controller after EEPROM restore.

See chapter "External EEPROM Control Register" for more details on using the optional external EEPROM

图 18. 寄存器映射

寄存器说明

寄存器命名约定

RW	读写
RO	只读
SO	仅设置
DEF	默认值
SI	带符号整数
UI	无符号整数

存储器映射和分页机制

LTC2949 的存储器映射分为两页，分别是 PAGE0 和 PAGE1。PAGE0 包含所有慢通道结果量、控制和状态寄存器，而 PAGE1 包含所有阈值和配置寄存器。每个页面都有一个寄存器地址空间，范围从 0x00 到 0xEF，每个寄存器由一个 8 位字节的数据构成。寄存器 0xF0 至 0xFF 对这两个寄存器页面是通用的。0xFF 处的 REGSCTRL 寄存器是该范围的一部分，用于切换页面，参见下文。为了清楚起见，以下将 PAGE1 上的所有寄存器地址表示为 p1.0xYY，而将 PAGE0 上的地址简称为 0xYY。

多字节数据的存储方式是将最高有效字节存储在最低地址（小端）。例如，量 C1 的 MSB C1[47:40] 存储在 PAGE0 的地址 0x00 处。

请注意，从 LTC2949 的存储器映射中读取数据（无论使用直接命令，还是使用 RDCVCONF = 0 的间接存储器访问 RDCV 命令）时，首先报告高位字节（MSByte），而通过 RDCV（RDCVCONF = 1）读取快速转换结果时，首先报告低位字节（LSByte）。

寄存器映射中的某些地址未使用，是保留地址。非保留寄存器中未明确说明的位也被保留。写入未使用的保留寄存器或非保留寄存器中的保留位，可能导致 LTC2949 发生不希望的行为；应将非保留寄存器中的保留位写为 0。读取未使用的寄存器一般是无害的，但会返回随机数据。如果需要通过软件检测器件版本，请联系厂方以获取详细信息。

寄存器控制寄存器

寄存器控制寄存器（0xFF）选择活动存储器页面，允许配置 LTC2949 以响应广播读取命令，将 RDCV 命令配置为间接存储器访问模式，以及提供存储器锁定机制。

表 23. 控制寄存器 REGSCTRL (0xFF)

位	符号	类型	默认值	操作
0	PAGE	RW	0	存储器映射页面选择 0：选择存储器映射的 PAGE0。 1：选择存储器映射的 PAGE1。
2	BCREN	RW	0	广播读取使能 0：LTC2949 不响应广播读取命令 1：LTC2949 响应广播读取命令
[5:4]	MLK[1:0]	RW	00	存储器锁 00：存储器未锁定 01：主机请求存储器锁定 10：存储器已锁定
7	RDCVCONF	RW	1	RDCV 配置位 0：间接存储器访问模式。RDCV 将报告从写入 RDCVIADDR (0xFC) 的地址开始的数据。 1：RDCV 命令将报告最新的快速通道转换结果。

寄存器说明

LTC2949 提供了一种机制来锁定存储器，以在访问存储器时保持寄存器之间的连贯性。主机可以通过将位 MLK[1:0] 设置为 01 来请求存储器锁定。LTC2949 随即更新其寄存器，例如用测量结果更新。在此期间，除了寄存器 REGSCTR 和 RDCVIADDR 之外，对 LTC2949 存储器的读写访问均被阻止。在 LTC2949 更新了所有寄存器之后，它将 MLK[1:0] 设置为 10，告诉主机存储器已锁定。LTC2949 不再更新存储器映射，直到主机向 MLK[1:0] 写入 00 来解锁存储器。

LTC2949 的内部存储器在锁定状态下仍会更新，因此值的累加和警报的更新不会中断。一旦存储器锁定，主机便可读取一致的数据，哪怕是通过单字节访问。在这些单次读取处理之间，数据不会更改。还可以操纵结果参数值，例如为电荷或

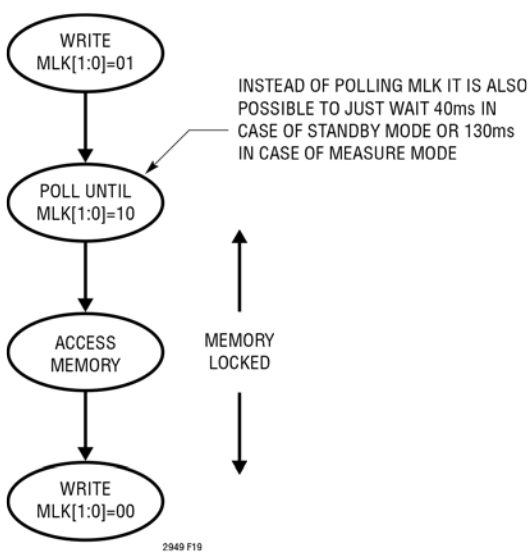


图 19. 存储器锁定

电能等量设置某一起始值。对于多字节读写突发操作，单行 16 字节（寄存器范围 0x00 至 0x0F、0x10 至 0x1F、...、0xE0 至 0xEF）内的连贯性始终是有保证的，不要求存储器锁定。

表 24. 操作控制 OPCTRL (0xF0)

位	符号	类型	默认值	操作
0	SLEEP	RW	0	0: 正常工作 1: SLEEP (睡眠)。如果在 SPI 模式下将 CSB 引脚拉低，或在 isoSPI 模式下发送一个唤醒脉冲，随后又发送一个“长-1”脉冲，那么 LTC2949 将退出 SLEEP 状态。
1	CLR	SO	0	1: 清零。累加和跟踪 (最大值/最小值) 寄存器清零: C1、E1、TB1、C2、E2、TB2、C3、TB4、E4、TB4 IMAX、IMIN、PMAX、PMIN、VMAX、VMIN、TEMPMAX、TEMPMIN、VDVCCMAX、VDVCCMIN、SLOTXMAX、SLOTXMIN
2	SSHOT	SO	0	1: 单次测量完成对电流、电压、功率、温度、V _{CC} 、SLOT1、SLOT2、V _{REF} 的单组测量之后，LTC2949 进入 MEASURE 状态并返回 STANDBY 状态。返回 STANDBY 时，结果寄存器会更新，SSHOT 清零。如果设置了 CONT，则在进行中的转换周期完成后，它会清零，并执行单次测量。
3	CONT	RW	0	0: 禁用连续测量 1: 在小于 t _{IDLE_CORE} 的时间之后使能连续测量。测量周期连续运行。电荷、电能和时间测量仅在连续模式下有效。
5	ADJUPD	SO	0	为确保数据连贯性，第二页配置寄存器中的更改（阈值设置除外）只有在更新过程（通过设置 ADJUPD 位来初始化）完成之后才会生效。一旦新的配置值有效，LTC2949 就会复位 ADJUPD 位。阈值寄存器可以随时更改，不需要 ADJUPD 过程。 1: 请求更新第二存储器页面上的配置寄存器，阈值设置除外。 0: 更新完成
7	RST	SO	0	0: 正常工作；1: 复位器件。默认情况下，复位功能处于锁定状态，向此位写入 1 无作用。有关如何复位器件的步骤，参见 RSTUNLCK。

注释 9: ADJUPD 只应在 STANDBY 模式下发出。建议方案是将 ADJUPD 设置为初始化例程的最后一个动作，然后进入连续模式。设置 ADJUPD 之后，LTC2949 完成内部更新过程最多需要 100ms 的时间，ADJUPD 位会自动清零。因此，也可以轮询 ADJUPD 位是否清零，以判断该操作何时完成。

如果需要在使能 CONT 之后置位 ADJUPD，则必须先将 CONT 位清零，再等待 100ms 以确保所有测量周期均已完成，然后置位 ADJUPD。ADJUPD 自动清零之后，可再次进入连续模式。

当进入 STANDBY 模式时，为避免 100ms 的等待时间，也可以在清除 CONT 的同时设置 CLR，然后轮询 CLR 位是否被 LTC2949 清零。这也表明了先前进行的测量周期已结束。

寄存器说明

状态寄存器 (0x80)、故障寄存器 (0xDC-0xDD) 和警报寄存器 (0x81-0x87) 的读取总是可以在不锁定存储器的情况下完成。但是, 一旦有必要清除这些寄存器, 为了避免丢失任何警报和故障报告, 存储器锁定就是必须的。如果在存储器锁定时发生了警报事件, LTC2949 将在主机解锁存储器后把相应的位置 1。无论内核状态如何, 都必须遵循此规则, 因为某些故障在 STANDBY 模式下也可能发生。

任何快速转换都不受存储器锁定机制的影响, 因此仍然可以更改 FAMUX 设置, 触发快速单次测量, 通过 RDCV 读取结果。另外, 在快速连续测量期间, 仍然可以从 FIFO 读取转换结果。

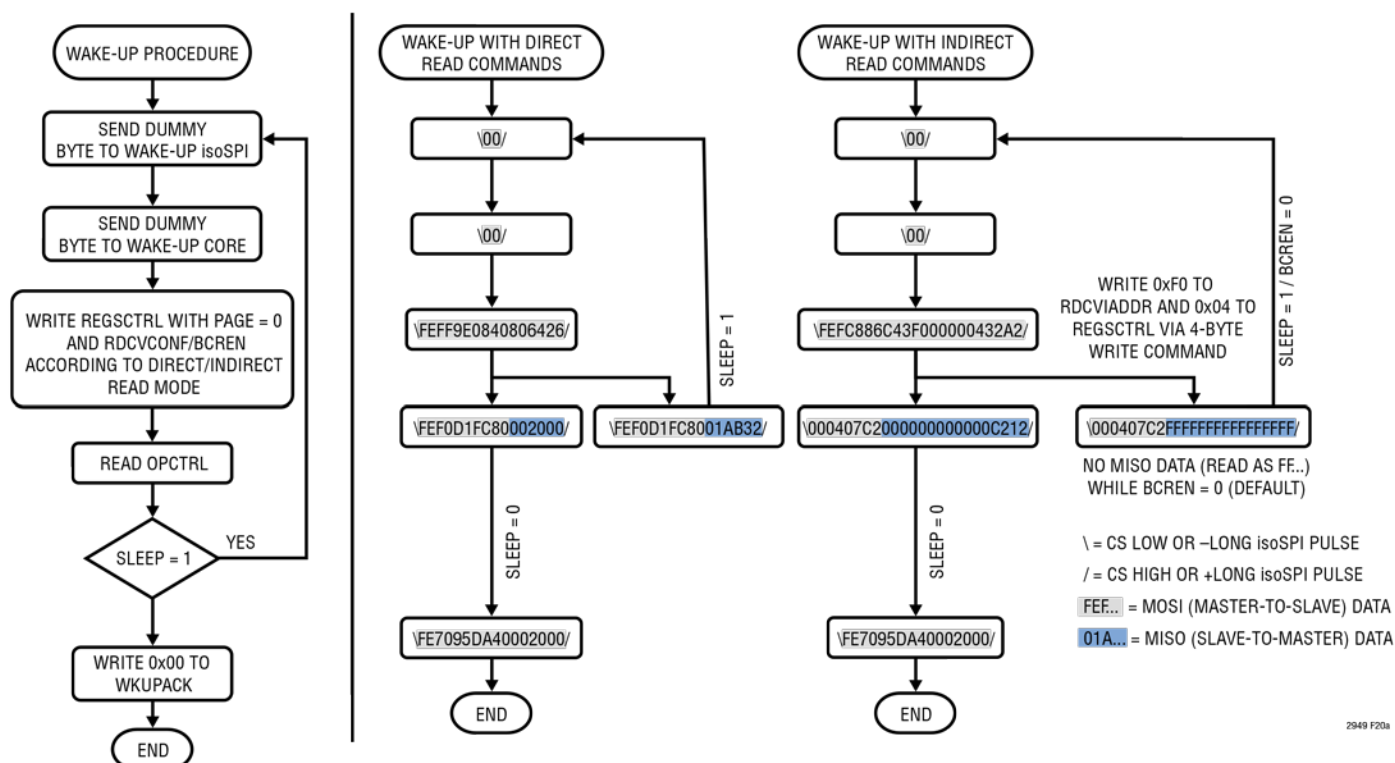
操作控制寄存器

操作控制寄存器 OPCTRL (0xF0) 控制 LTC2949 内核状态之间的转换: SLEEP、STANDBY 和 MEASURE。此外, 它还允许清除累加和跟踪寄存器, 以验证配置寄存器的变更并复位 LTC2949。

寄存器映射 PAGE0

唤醒应答

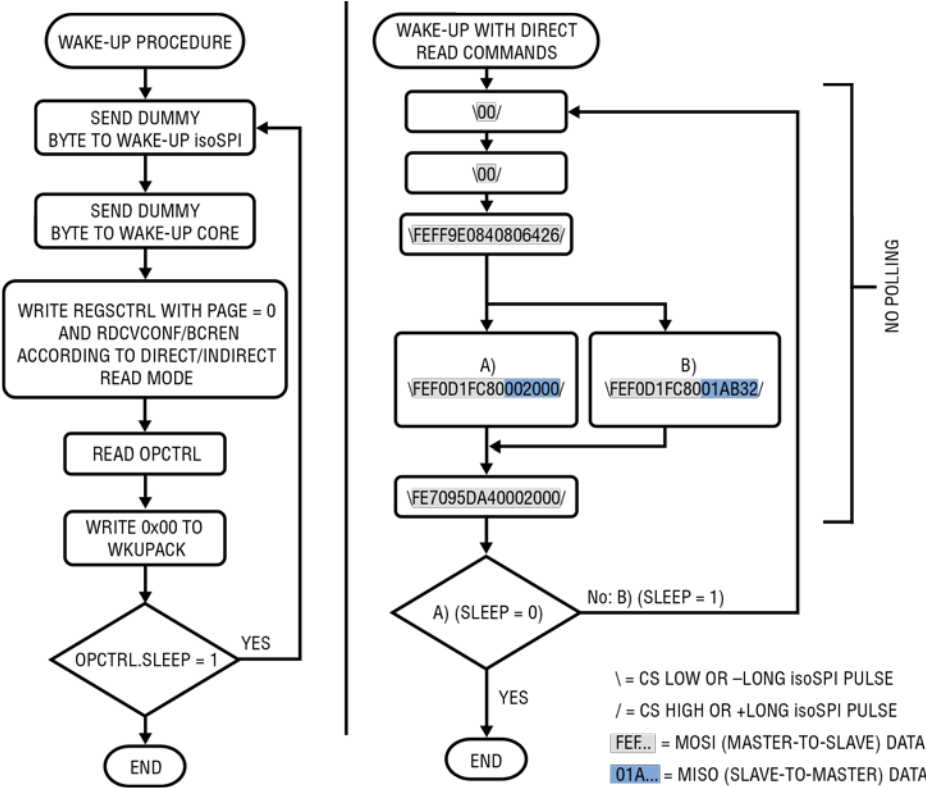
如果在进入 STANDBY 状态后 1 秒内未收到唤醒确认命令, 则 LTC2949 自动返回 SLEEP 状态。唤醒确认可以是 0x00 写入寄存器 0x70, 或者是开始测量。在唤醒确认之前, WKUPACK 会在大约 1 秒内报告从 0xFF 到 0x00 的倒计时。唤醒确认后, 倒计时停止, WKUPACK 静态报告 0x00。



注意: 在菊花链顶部操作时, 每次须唤醒 isoSPI 链时, 必须发送多个虚拟字节。有关建议程序, 另请参阅最新电池监控器数据手册 (例如 LTC6812) 中的“唤醒菊花链”章节。

图 20a. 建议唤醒程序的流程图以及直接和间接读取方案的 SPI 处理示例

寄存器说明



2949 F20b

图 20b. 建议唤醒程序的流程图，按顺序执行而无需轮询

寄存器说明

表 25. 唤醒应答寄存器 (0x70)

位	符号	类型	默认值	操作
[7:0]	WKUPACK	RW	参见上文	0x00: 唤醒已确认。器件不会返回 SLEEP 状态。 任何其他值: 唤醒未确认。器件将返回到 SLEEP 状态。

在 LTC2949 位于菊花链顶部的应用中, 必须先设置 REGSCTRL 中的 BCREN 位, 然后才能读取 LTC2949。这只有在引导序列完成后才能执行。将读取 OPCTRL 与写入 REGSCTRL (BCREN = 1, 所有其他位为 0) 交织, 仍可以实现对 SLEEP 位是否清零的轮询。这种情况也意味着需要通过 RDCV 命令间接读取寄存器 (故 RDCVCONF = 0), 因此写入 REGSCTRL 可以连同 RDCVIADDR (设置为 0xF0) 在一个四个字节的突发操作中完成; RDCVIADDR 和 REGSCTRL 之间的两个字节设置为 0x00。因此, 要写入的四个字节为 0xF0, 0x00, 0x00, 0x04, 随后的 RDCV 命令将报告 OPCTRL 的内容。但是, 如果引导序列未完成, LTC2949 将忽略广播 RDCV 命令, 因此主机将总是读取到 0xFF (其也与 SLEEP = 1 兼容); 如果读取 8 个字节, 结果会包括 PEC = 0xFFFF (在这种情况下, 不必读到 PEC)。完成引导后, OPCTRL 的读取结果将为 0x00。

累计结果寄存器

表 26 和表 27 中的寄存器包含电荷、电能和时间的累计量。时间寄存器是无符号整数值, 而电荷和电能寄存器是二进制补码带符号整数值。每个累计量的值可以通过将相应的寄存器值与表 26 (如果使用内部时钟或晶振作为参考时钟) 或表 27 (如果使用外部参考时钟) 中的对应 LSB 值相乘来确定。

表 26. 配合晶振或内部时钟使用的累计结果寄存器参数

地址	名称	类型	默认值	参数	LSB (4MHz 晶振或内部时钟)	PRE (4MHz 晶振)	DIV (4MHz 晶振)	单位	SI/UI
0x00	C1[47:0]	RW	0x00	Charge1 = C1 • LSBC1	LSBC1 = 377.887e-12	2	30	Vs	SI
0x06	E1[47:0]	RW	0x00	Energy1 = E1 • LSBE1	LSBE1 = 2.32175e-09	2	30	V ² s	SI
0x0C	TB1[31:0]	RW	0x00	Time1 = TB1 • LSBTB1	LSBTB1 = 397.777E-06	2	30	s	UI
0x10	C2[47:0]	RW	0x00	Charge2 = C2 • LSBC2	LSBC2 = 377.887e-12	2	30	Vs	SI
0x16	E2[47:0]	RW	0x00	Energy2 = E2 • LSBE2	LSBE2 = 2.32175e-09	2	30	V ² s	SI
0x1C	TB2[31:0]	RW	0x00	Time2 = TB2 • LSBTB2	LSBTB2 = 397.777E-06	2	30	s	UI
0x24	C3[63:0]	RW	0x00	Charge3 = C3 • LSBC3	LSBC3 = 377.887e-12	2	30	Vs	SI
0x2C	TB3[31:0]	RW	0x00	Time3 = TB3 • LSBTB3	LSBTB3 = 397.777E-06	2	30	s	UI
0x34	E4[63:0]	RW	0x00	Energy4 = E4 • LSBE4	LSBE4 = 2.32175e-09	2	30	V ² s	SI
0x3C	TB4[31:0]	RW	0x00	Time4 = TB4 • LSBTB4	LSBTB4 = 397.777E-06	2	30	s	UI

Charge1、Energy1 和 Time1 包含 Channel1 的累计数量。Charge2、Energy2 和 Time2 包含 Channel2 的累计数量。Charge3 和 Time3 包含 Channel1 和 Channel2 监视的电荷的加权和及相应的时间。类似地, Energy4 和 Time4 包含 Channel1 和 Channel2 监视的电能的加权和及相应的时间。

如果 CH1 和 CH2 使用不同的检测电阻, LTC2949 将使用增益配置寄存器中设置的检测电阻之比 (RSRATIO) 来计算正确的加权和 Charge3 与 Energy4。

使用内部时钟时, 应将 0x07 写入寄存器 (0xE9) 以将 PRE 和 DIV 设置为默认值, 否则应根据“时基控制”部分所述设置 PRE(0xE9)[2:0] 和 DIV(0xE9)[7:3] 的值。

寄存器说明

表 27. 配合外部时钟使用的累计结果寄存器参数

地址	名称	类型	默认值	参数	LSB	单位	SI/UI
0x00	C1[47:0]	RW	0x00	Charge1 = C1 • LSBC1	$LSBC1 = 1.21899e-5 \cdot 1/f_{EXT} \cdot 2^{PRE} \cdot (DIV+1)$	Vs	SI
0x06	E1[47:0]	RW	0x00	Energy1 = E1 • LSBE1	$LSBE1 = 7.4895e-5 \cdot 1/f_{EXT} \cdot 2^{PRE} \cdot (DIV+1)$	V ² s	SI
0x0C	TB1[31:0]	RW	0x00	Time1 = TB1 • LSBTB1	$LSBTB1 = 12.8315 \cdot 1/f_{EXT} \cdot 2^{PRE} \cdot (DIV+1)$	s	UI
0x10	C2[47:0]	RW	0x00	Charge2 = C2 • LSBC2	$LSBC2 = 1.21899e-5 \cdot 1/f_{EXT} \cdot 2^{PRE} \cdot (DIV+1)$	Vs	SI
0x16	E2[47:0]	RW	0x00	Energy2 = E2 • LSBE2	$LSBE2 = 7.4895e-5 \cdot 1/f_{EXT} \cdot 2^{PRE} \cdot (DIV+1)$	V ² s	SI
0x1C	TB2[31:0]	RW	0x00	Time2 = TB2 • LSBTB2	$LSBTB2 = 12.8315 \cdot 1/f_{EXT} \cdot 2^{PRE} \cdot (DIV+1)$	s	UI
0x24	C3[63:0]	RW	0x00	Charge3 = C3 • LSBC3	$LSBC3 = 1.21899e-5 \cdot 1/f_{EXT} \cdot 2^{PRE} \cdot (DIV+1)$	Vs	SI
0x2C	TB3[31:0]	RW	0x00	Time3 = TB3 • LSBTB3	$LSBTB3 = 12.8315 \cdot 1/f_{EXT} \cdot 2^{PRE} \cdot (DIV+1)$	s	UI
0x34	E4[63:0]	RW	0x00	Energy4 = E4 • LSBE4	$LSBE4 = 7.4895e-5 \cdot 1/f_{EXT} \cdot 2^{PRE} \cdot (DIV+1)$	V ² s	SI
0x3C	TB4[31:0]	RW	0x00	Time4 = TB4 • LSBTB4	$LSBTB4 = 12.8315 \cdot 1/f_{EXT} \cdot 2^{PRE} \cdot (DIV+1)$	s	UI

注释：PRE 和 DIV 的值应根据“时基控制”部分进行计算。

例如，10MHz 的外部时钟频率要求将 PRE 设置为 4，将 DIV 设置为 19。当 $f_{EXT} = 10\text{MHz}$ 时，LSBC1 计算结果为 $390.078e-12\text{Vs}$ 。为了获得 Charge1 值，应将 C1 的寄存器内容乘以 LSBC1。在这种情况下，C1 寄存器值为 0x75 5A 10 或 7690768，故 Charge1 为 0.003Vs。对于 $300\mu\Omega$ 的检测电阻，这相当于 10A。

使用 LTC2949 的 Quick Eval 软件，或使用 LTC2949 的代码部分中提供的 C/C++ 头文件，即可轻松计算 LSB 值（有关详细信息，请参阅 LTC2949 评估板 DC2732A 手册）。电荷、电能和时间寄存器可以预设为非零初始值。在连续模式下，各个量的所有字节必须在同一多字节事务处理中或在锁定存储器的时候写入。

非累计结果寄存器

表 28 中的寄存器包含电流、功率、电压、温度、VCC 和 VREF 的测量值。所有量均表示为二进制补码带符号整数。

电流 1 代表在 CF1P 和 CF1M 之间检测到的差分电压。电流 2 代表在 CF2P 和 CF2M 之间检测到的差分电压。电池电压 (BAT) 是 VBATP 和 VBATM 引脚之间的差分电压。功率 1 是 BAT 和电流 1 的瞬时乘积。功率 2 是 BAT 和电流 2 的瞬时乘积。温度是片内温度传感器的温度。VCC 是引脚 A/DVCC 和 AGND 之间的电压。寄存器 SLOT1 和 SLOT2 包含根据表 58 选择的两个多路复用器输入的结果，并可通过 NTC 配置寄存器（表 70）进行配置以输出电压或温度。VREF 是引脚 VREF 和 AGND 之间的电压。前四个电流测量的移动平均值存储在 I1AVG 和 I2AVG 中。这四个电流测量值保存在电流历史记录寄存器中。电流 1 历史记录 1 是在电流 1 之前的结果，电流 1 历史记录 2 是在电流 1 历史记录 1 之前的电流结果，依此类推。所有测量值均要乘以 LSB 值。为了计算测量参数的实际值，须将寄存器值乘以适当的 LSB 值。

表 28. 非累计结果寄存器参数

地址	名称	类型	默认值	参数	LSB	单位	SI/UI
0x90	I1[23:0]	RO	0x00	电流 1	950	nV	SI
0x93	P1[23:0]	RO	0x00	功率 1 (功率, P1ASV=0)	5.8368	μV^2	SI
				功率 1 (电压, P1ASV=1)	46.875	μV	SI
0x96	I2[23:0]	RO	0x00	电流 2	950	nV	SI

寄存器说明

表 28. 非累计结果寄存器参数 (续)

地址	名称	类型	默认值	参数	LSB	单位	SI/UI
0x99	P2[23:0]	RO	0x00	功率 2 (功率, P2ASV=0)	5.8368	$\mu[V^2]$	SI
				功率 2 (电压, P2ASV=1)	46.875	μV	SI
0x9C	I1AVG[23:0]	RO	0x00	电流 1 移动平均值	237.5	nV	SI
0xA0	BAT[15:0]	RO	0x00	电池电压	375	μV	SI
0xA2	TEMP [15:0]	RO	0x00	温度	0.2	$^{\circ}C$	SI
0xA4	VCC[15:0]	RO	0x00	A/DVCC 电压	2.26	mV	SI
0xA6	SLOT1[15:0]	RO	0x00	SLOT 1 (电压)	375	μV	SI
				SLOT 1 (温度)	0.2	$^{\circ}C$	SI
0xA8	SLOT2[15:0]	RO	0x00	SLOT 2 (电压)	375	μV	SI
				SLOT 2 (温度)	0.2	$^{\circ}C$	SI
0xAA	VREF[15:0]	RO	0x00	VREF 电压	375	μV	SI
0xAC	I2AVG[23:0]	RO	0x00	电流 2 移动平均值	237.5	nV	SI
0xB3	I1H1[23:0]	RO	0x00	电流 1 历史记录 1	950	nV	SI
0xB6	I1H2[23:0]	RO	0x00	电流 1 历史记录 2	950	nV	SI
0xB9	I1H3[23:0]	RO	0x00	电流 1 历史记录 3	950	nV	SI
0xBC	I1H4[23:0]	RO	0x00	电流 1 历史记录 4	950	nV	SI
0xC3	I2H1[23:0]	RO	0x00	电流 2 历史记录 1	950	nV	SI
0xC6	I2H2[23:0]	RO	0x00	电流 2 历史记录 2	950	nV	SI
0xC9	I2H3[23:0]	RO	0x00	电流 2 历史记录 3	950	nV	SI
0xCC	I2H4[23:0]	RO	0x00	电流 2 历史记录 4	950	nV	SI
0xF7	FIFOI1[15:0]	RO	0x00	快速电流 1	7.60371	μV	SI
0xF8	FIFOI2[15:0]	RO	0x00	快速电流 2	7.60371	μV	SI
0xF9	FIFOBAT[15:0]	RO	0x00	快速电池电压	375.183	μV	SI
0xFA	FIFOAUX[15:0]	RO	0x00	快速 AUX HVMUX	375.183	μV	SI

FIFO 寄存器 0xF7 至 0xFA 允许在快速连续模式下读取转换结果。读取这些寄存器时, 内部地址停止自动递增, 从而允许在固定地址读取任意字节数。对于每个样本, 必须读取三个字节, 分别是 MSB、LSB 和 TAG, 更多信息另请参见“快速模式”部分和下面的说明。

寄存器 I1AVG (0x9C) 和 I2AVG (0xAC) 分别复制到寄存器 0xB0 和 0xC0。因此, 0x9C-0x9E 将报告与 0xB0-0xB2 相同的值, 0xAC-0xAE 将报告与 0xC0-0xC2 相同的值。

表 29. FIFO 寄存器读取格式

数据字节	名称	说明
0	$S_N[15:8]$	测量样本 N 的 MSB
1	$S_N[7:0]$	测量样本 N 的 LSB
2	TAG_N	样本 N 的标签
3	$S_{N+1}[15:8]$	测量样本 N+1 的 MSB
4	$S_{N+1}[7:0]$	测量样本 N+1 的 LSB
5	TAG_{N+1}	样本 N+1 的标签
...
3*M	$S_{N+M}[15:8]$	测量样本 N+M 的 MSB
3*M+1	$S_{N+M}[7:0]$	测量样本 N+M 的 LSB
3*M+2	TAG_{N+M}	样本 N+M 的标签

寄存器说明

“数据字节”栏不包括 PEC 字节，这取决于每个 PEC 的数据字节设置 (DCMD 为 ID 字节, RDCV 为 6 字节)。为使数据吞吐量最大，建议利用 DCMD 读取 FIFO，每个 PEC 16 字节，数据为 16 样本的倍数 (= 48 个数据字节 + 3•2 个 PEC 字节)。

表 30. FIFO TAG 定义

TAG	名称	说明
0x00	OK	有效的新样本
0x55	RDOVR	读取超限，样本已被读取
0xAA	WROVR	写入超限，FIFO 已填满，至少一个样本已被覆盖

建议总是将 LTC2949 与菊花链并行连接。另外，在将 LTC2949 连接到可逆 isoSPI 链的一端的情况下，应使用直接读取命令来完成默认通信。只有在 LTC2949 的直接 isoSPI 链路失败的情况下，通信才会通过菊花链进行路由。

在 LTC2949 位于菊花链顶部的这种配置中，发出广播 RDCV 命令之后，堆叠的 LTC68xx 电池监控器变为级联移位寄存器，其中的数据通过各器件转移到堆叠中的下一个器件。在这种情况下，在读取处理结束时，移位寄存器中始终存在固定数量的样本，这些样本永远不会传输到主机。

有几种方法可以避免样本损失或使损失最小。停止任一快速连续模式 (FACONV = 0)，读取 FIFO 直到其变空，然后重复快速连续测量 (FACONV = 1)。这导致一个没有测量的时间窗口，其等于读取样本所需的时间。例如，以 1Mbps 的串行时钟速率，需要 0.8 ms (大约一次快速转换的时间) 来读取 24 个样本 (4 字节命令和 PEC、72 个数据字节、24 个数据 PEC 字节，总计 100 个字节或 800 位)。如果时钟速率较慢或周期时间较长 (每个周期读取更多样本)，以下方法会更有效。

或者，FIFO 读取突发操作必须足够长，以便总是能清空 FIFO，并使用 TAG RDOVR 读取至少一个样本。不过，在这里，一个带有 TAG OK 的样本也可能在 RDOVR 之后到达，然后被卡在菊花链的移位寄存器中。如果移位寄存器的延迟时间 (菊花链中的器件数量乘以八字节乘以每字节八位除以 SPI 时钟速率) 大于一次快速转换时间，那么甚至会有多个样本会卡在菊花链中。

跟踪寄存器

跟踪寄存器跟踪上次复位以来先前转换的最大值和最小值。值的缩放与非累计寄存器值的缩放方式相同，使用表 31 中的 LSB 值。更新最小值寄存器时，负值被认为比正值小。

例如：寄存器值 I1MAX(0x40,0x41) 为 0000 0001 1111 0100b = 01 F4h = 500d 时，表示最终的最大检测电阻信号为 500 • 3.8μV = 1.9mV。寄存器值 I1MIN(0x42,0x43) 为 1111 1010 0010 0100b = FA 24h = -1500d 时，表示最小检测电阻信号为 -1500 • 3.8μV = -5.7mV。其他被跟踪参数值的计算方式与此相同，使用相应的 LSB 值即可。

寄存器说明

表 31. 跟踪寄存器

地址	名称	类型	默认值	参数	LSB	单位	SI/UI
0x40	I1MAX[15:0]	RW	0x8000	最大 I1 电流	3.8	μV	SI
0x48	I2MAX[15:0]	RW	0x8000	最大 I2 电流	3.8	μV	SI
0x42	I1MIN[15:0]	RW	0x7FFF	最小 I1 电流	3.8	μV	SI
0x4A	I2MIN[15:0]	RW	0x7FFF	最小 I2 电流	3.8	μV	SI
0x44	P1MAX[15:0]	RW	0x8000	最大功率 1 (或 P1ASV=1 的电池电压)	23.347 (187.5)	μV^2 (μV)	SI
0x4C	P2MAX[15:0]	RW	0x8000	最大功率 2 (或 P2ASV=1 的电池电压)	23.347 (187.5)	μV^2 (μV)	SI
0x46	P1MIN[15:0]	RW	0x7FFF	最小功率 1 (或 P1ASV=1 的电池电压)	23.347 (187.5)	μV^2 (μV)	SI
0x4E	P2MIN[15:0]	RW	0x7FFF	最小功率 2 (或 P2ASV=1 的电池电压)	23.347 (187.5)	μV^2 (μV)	SI
0x50	BATMAX[15:0]	RW	0x8000	最大电池电压	375	μV	SI
0x52	BATMIN[15:0]	RW	0x7FFF	最小电池电压	375	μV	SI
0x54	TEMPMAX[15:0]	RW	0x8000	最大温度	0.2	$^{\circ}\text{C}$	SI
0x56	TEMPMIN[15:0]	RW	0x7FFF	最小温度	0.2	$^{\circ}\text{C}$	SI
0x58	VCCMAX[15:0]	RW	0x8000	A/DVCC 最大电压	2.26	mV	SI
0x5A	VCCMIN[15:0]	RW	0x7FFF	A/DVCC 最小电压	2.26	mV	SI
0x5C	SLOT1MAX[15:0]	RW	0x8000	SLOT1 的最大电压 (或温度)	375 (0.2)	μV ($^{\circ}\text{C}$)	SI
0x5E	SLOT1MIN[15:0]	RW	0x7FFF	SLOT1 的最小电压 (或温度)	375 (0.2)	μV ($^{\circ}\text{C}$)	SI
0x60	SLOT2MAX[15:0]	RW	0x8000	SLOT2 的最大电压 (或温度)	375 (0.2)	μV ($^{\circ}\text{C}$)	SI
0x62	SLOT2MIN[15:0]	RW	0x7FFF	SLOT2 的最小电压 (或温度)	375 (0.2)	μV ($^{\circ}\text{C}$)	SI

注意, 电流和功率的跟踪寄存器仅报告相应 18 位结果寄存器的 16 个 MSB, 导致 LSB 值大四倍。

状态、(外部) 故障、阈值和溢出警报寄存器

以下部分中描述的寄存器用于通知某些事件, 例如电压阈值违规、电荷或电能溢出、电源欠压事件等。上电后, 建议锁定存储器, 读取 STATUS、FAULTS 和 EXTFAULTS 寄存器, 检查默认值, 将其清零, 最后解锁存储器。正常运行期间, 应定期检查这些寄存器是否为全零 (UPDATE 位除外)。任何其他值都表示发生故障。

STATUS、警报 (0x81-0x87)、FAULTS 和 EXTFAULTS 寄存器中的任何位只会在发生某种事件时才由 LTC2949 设置为 1, 但绝不会自动清零。主机读取设置为 1 的某些位后, 应采取措施 (例如, 在发生电荷溢出时清除电荷寄存器); 必须锁定存储器 (参见 REGSCTRL); 应当再次读取寄存器, 因为同时还可能发生了其他事件; 必须向非 0x00 的寄存器写入 0x00; 最后必须解锁存储器以便继续正常运行。

建议不要在未使用存储器锁的情况下写入这些寄存器, 否则可能导致故障和警报报告丢失。

状态和故障寄存器

STATUS 寄存器报告寄存器更新、欠压闭锁和参考时钟错误的状态。上电时，所有欠压闭锁和上电复位均设置为 1。从关断状态退出后，UVLOA 和 UVLOD 位置 1。LTC2949 完成一个测量周期并更新结果寄存器、累计寄存器和跟踪寄存器后，UPDATE 设置为 1。

如果 AVCC 电源电压对于 ADC 的正常运行而言过低,则 ADCERR 设置为 1。如果 ADCERR 为 1,则结果寄存器中的值无效,应将其丢弃。如果内部时基溢出,则 TBERR 设置为 1。这表明相对于 CLKI 上的外部时钟,PRE 和 DIV 值的设置不正确。如果 TBERR 为 1,则应丢弃累计结果寄存器的值。

表 32. STATUS (0x80)

位	符号	类型	默认值	操作
0	UVLOA	RW	1	1: 转换期间模拟域或 ADC 欠压
1	PORA	RW	1	1: 模拟域欠压导致发生了上电复位
2	UVLOSTBY	RW	1	1: 待机域欠压
3	UVLOD	RW	1	1: 数字域欠压
4	UPDATE	RW	0	1: 结果寄存器已更新
5	ADCERR	RW	0	1: 由于转换期间欠压, ADC 转换无效
6	TBERR	RW	0	1: 内部时基寄存器溢出。累计结果寄存器的值无效

LTC2949 有几类内部存储器是在启动期间通过内置自测 (BIST) 例程进行检查。EXTFAULTS 和 FAULTS 寄存器报告各个模块中的错误。FAULTS 寄存器还会报告内部 (片内) 和外部 (SPI/isoSPI 接口上从主机到从机) 通信错误, 并指示热关断和快速通道错误事件。

表 33. EXTFAULTS (0xDC)

位	符号	类型	默认值	操作
0	HD1BITERR	RW	0	1: Hamming 解码器 1 位错误
1	ROMERR	RW	0	1: ROM CRC 错误
2	MEMERR	RW	0	1: 存储器错误
3	FCAERR	RW	0	1: 快速通道错误
4	XRAMERR	RW	0	1: XRAM 错误
5	IRAMERR	RW	0	1: IRAM 错误
7	HWMBISTEXEC	RW	1	1: 存储器 BIST 已执行。如果上电期间外部拉低 SDA, 则存储器 BIST 将被跳过, 此位将为零。在 SDA 和 BYP1 之间连接一个 4.7k-10k 上拉电阻, 确保存储器 BIST 正确运行。

寄存器说明

表 34. FAULTS (0xDD)

位	符号	类型	默认值	操作
0	PROMERR	RW	0	1: 内部 PROM 中存储的调整值错误
1	TSD	RW	0	1: 过热导致关断
2	INTCOMMERR	RW	0	1: 内部通信奇偶校验失败
3	EXTCOMMERR	RW	0	1: 外部通信 (SPI/isoSPI) 发生 PEC 错误
4	FAERR	RW	0	1: 快速模式错误, 更多信息参见《安全手册》
5	HWBIST	RW	0	1: 硬件 BIST 期间出错。
6	CRCCFG	RW	0	1: 内部 RAM 增益系数 CRC 错误
7	CRCMEM	RW	0	1: 用户可访问寄存器 CRC 错误

阈值和溢出警报寄存器

当超过相应的阈值或寄存器溢出时, 阈值和溢出警报寄存器就会设置。阈值在“阈值寄存器”部分中设置。

对照保护值不断地检查累计量, 当寄存器接近溢出时发出警告, 保护值标称设置为每个寄存器最大值的 90%。当任何量超过保护阈值时, LTC2949 会设置状态寄存器中的相应溢出位, 产生警报 (如已使能) 并继续累计。在最大电压输入下, 翻转通常发生在溢出警报发出数小时之后, 以便主机有时间采取行动避免数据丢失, 使用存储器锁定程序读取和清除相关的累加器。32 位量 (时间) 的溢出阈值为 3865470565 LSB; 48 位量 (电荷和电能) 的溢出阈值为 ± 126663739519794 LSB。

用于累计电荷、电能和时间的阈值比较器和溢出比较器内部使用浮点格式。这看起来可能会引起轻微的位级比较差异, 但累计结果寄存器与其相应阈值寄存器之间的比较将始终有优于 0.001% 的精度。

警报条件必须存在至少 200ms, 警报寄存器 (0x81-0x87) 才会将其报告。只有 OCC1 或 OCC2 检测到的过流状况会导致 GPO5 上的心跳信号停止, 从而在几微秒内便将情况告知主机。

寄存器说明

表 35. 电压、温度阈值警报 STATVT (0x81)

位	符号	类型	默认值	操作
0	BATH	RW	0	1: 超过电压 (VBATP – VBATM) 高阈值
1	BATL	RW	0	1: 超过电压 (VBATP – VBATM) 低阈值
2	TEMPH	RW	0	1: 超过温度高阈值
3	TEMPL	RW	0	1: 超过温度低阈值
4	SLOT1H	RW	0	1: 超过 SLOT1 高阈值
5	SLOT1L	RW	0	1: 超过 SLOT1 低阈值
6	SLOT2H	RW	0	1: 超过 SLOT2 高阈值
7	SLOT2L	RW	0	1: 超过 SLOT2 低阈值

表 36. 电流、功率阈值警报 STATIP (0x82)

位	符号	类型	默认值	操作
0	I1H	RW	0	1: 超过 Current1 高阈值
1	I1L	RW	0	1: 超过 Current1 低阈值
2	P1H	RW	0	1: 超过 Power1 高阈值
3	P1L	RW	0	1: 超过 Power1 低阈值
4	I2H	RW	0	1: 超过 Current2 高阈值
5	I2L	RW	0	1: 超过 Current2 低阈值
6	P2H	RW	0	1: 超过 Power2 高阈值
7	P2L	RW	0	1: 超过 Power2 低阈值

表 37. 电荷阈值警报 STATC (0x83)

位	符号	类型	默认值	操作
0	C1H	RW	0	1: 超过 Charge1 高阈值
1	C1L	RW	0	1: 超过 Charge1 低阈值
2	C2H	RW	0	1: 超过 Charge2 高阈值
3	C2L	RW	0	1: 超过 Charge2 低阈值
4	C3H	RW	0	1: 超过 Charge3 高阈值
5	C3L	RW	0	1: 超过 Charge3 低阈值

表 38. 电能阈值警报 STATE (0x84)

位	符号	类型	默认值	操作
0	E1H	RW	0	1: 超过 Energy1 高阈值
1	E1L	RW	0	1: 超过 Energy1 低阈值
2	E2H	RW	0	1: 超过 Energy2 高阈值
3	E2L	RW	0	1: 超过 Energy2 低阈值
6	E4H	RW	0	1: 超过 Energy4 高阈值
7	E4L	RW	0	1: 超过 Energy4 低阈值

表 39. 电荷、电能溢出警报 STATCEOF (0x85)

位	符号	类型	默认值	操作
0	C1OVF	RW	0	1: Charge1 溢出警报
1	C2OVF	RW	0	1: Charge2 溢出警报
2	C3OVF	RW	0	1: Charge3 溢出警报
4	E1OVF	RW	0	1: Energy1 溢出警报
5	E2OVF	RW	0	1: Energy2 溢出警报
7	E4OVF	RW	0	1: Energy4 溢出警报

寄存器说明

表 40. 时基警报 STATTB (0x86)

位	符号	类型	默认值	操作
0	T1TH	RW	0	1: 超过 Time1 阈值
1	T2TH	RW	0	1: 超过 Time2 阈值
2	T3TH	RW	0	1: 超过 Time3 阈值
3	T4TH	RW	0	1: 超过 Time4 阈值
4	T1OVF	RW	0	1: Time1 溢出
5	T2OVF	RW	0	1: Time2 溢出
6	T3OVF	RW	0	1: Time3 溢出
7	T4OVF	RW	0	1: Time4 溢出

表 41. VCCOCC 阈值警报 STATVCC (0x87)

位	符号	类型	默认值	操作
0	VCCH	RW	0	1: 超过 VCC 高阈值
1	VCCL	RW	0	1: 超过 VCC 低阈值
2	OCC1H	RW	0	1: Current1 高于 OCC1 阈值的时间超过去毛刺时间
3	OCC2H	RW	0	1: Current2 高于 OCC2 阈值的时间超过去毛刺时间

注释: 要清除状态 (0x80)、故障 (0xDC-0xDD) 和警报 (0x81-0x87) 寄存器, 必须锁定存储器, 以免丢失任何故障和警报报告。有关详细信息, 参见 REGSCTRL 说明。

屏蔽寄存器

屏蔽寄存器控制哪些警报停止心跳信号。如果将某一屏蔽寄存器位复位为 0, 超过相应阈值将导致 GPO4 引脚上的心跳信号停止, 如果后者已在 GPIO4HBCTRL 寄存器中进行了相应配置的话。

当状态屏蔽寄存器 (STATUSM) 的某个位设置为 0 时, 寄存器 STATUS (0x80) 的相应位将停止心跳。当状态屏蔽寄存器的某个位设置为 1 时, 心跳不受寄存器 STATUS (0x80) 的相应位影响。

表 42. 状态屏蔽 STATUSM (0x88)

位	符号	类型	默认值	操作
0	UVLOAM	RW	1	屏蔽 STATUS(0x80) 的 UVLOA
3	UVLODM	RW	1	屏蔽 STATUS(0x80) 的 UVLOD
4	UPDATM	RW	1	屏蔽 STATUS(0x80) 的 UPDATE
5	ADCERRM	RW	1	屏蔽 STATUS(0x80) 的 ADCERR
6	TBCERRM	RW	1	屏蔽 STATUS(0x80) 的 TBCERR

当 STATVTM 的位设置为 0 时, 寄存器 STATVT (0x81) 的相应位将停止心跳。当 STATVTM 的某个位设置为 1 时, 心跳不受寄存器 STATVT (0x81) 的相应位影响。

表 43. 电压、温度阈值警报屏蔽 STATVTM (0x89)

位	符号	类型	默认值	操作
0	BATHM	RW	1	屏蔽 STATVT(0x81) 的 BATH
1	BATLM	RW	1	屏蔽 STATVT(0x81) 的 BATL
2	TEMPHM	RW	1	屏蔽 STATVT(0x81) 的 TEMPH
3	TEMPLM	RW	1	屏蔽 STATVT(0x81) 的 TEMPL
4	SLOT1HM	RW	1	屏蔽 STATVT(0x81) 的 SLOT1H
5	SLOT1LM	RW	1	屏蔽 STATVT(0x81) 的 SLOT1L
6	SLOT2HM	RW	1	屏蔽 STATVT(0x81) 的 SLOT2H
7	SLOT2LM	RW	1	屏蔽 STATVT(0x81) 的 SLOT2L

寄存器说明

当 STATIPM 中的位设置为 0 时，寄存器 STATIP (0x82) 中的位将停止心跳。当 STATIPM 寄存器的某个位设置为 1 时，心跳不受寄存器 STATIP (0x82) 的相应位影响。

表 44. 电流、功率阈值警报屏蔽 STATIPM (0x8A)

位	符号	类型	默认值	操作
0	I1HM	RW	1	屏蔽 STATIP (0x82) 的 I1H
1	I1LM	RW	1	屏蔽 STATIP (0x82) 的 I1L
2	P1HM	RW	1	屏蔽 STATIP (0x82) 的 P1H
3	P1LM	RW	1	屏蔽 STATIP (0x82) 的 P1L
4	I2HM	RW	1	屏蔽 STATIP (0x82) 的 I2H
5	I2LM	RW	1	屏蔽 STATIP (0x82) 的 I2L
6	P2HM	RW	1	屏蔽 STATIP (0x82) 的 P2H
7	P2LM	RW	1	屏蔽 STATIP (0x82) 的 P2L

当 STATCM 中的位设置为 0 时，寄存器 STATC (0x83) 中的位将停止心跳。当 STATCM 寄存器的某个位设置为 1 时，心跳不受寄存器 STATC (0x83) 的相应位影响。

表 45. 电荷阈值警报屏蔽 STATCM (0x8B)

位	符号	类型	默认值	操作
0	C1HM	RW	1	屏蔽 STATC (0x83) 的 C1H
1	C1LM	RW	1	屏蔽 STATC (0x83) 的 C1L
2	C2HM	RW	1	屏蔽 STATC (0x83) 的 C2H
3	C2LM	RW	1	屏蔽 STATC (0x83) 的 C2L
4	C3HM	RW	1	屏蔽 STATC (0x83) 的 C3H
5	C3LM	RW	1	屏蔽 STATC (0x83) 的 C3L

当 STATEM 中的位设置为 0 时，寄存器 STATE (0x84) 中的位将停止心跳。当 STATEM 寄存器的某个位设置为 1 时，心跳不受寄存器 STATE (0x84) 的相应位影响。

表 46. 电能阈值警报屏蔽 STATEM (0x8C)

位	符号	类型	默认值	操作
0	E1HM	RW	1	屏蔽 STATE (0x84) 的 E1H
1	E1LM	RW	1	屏蔽 STATE (0x84) 的 E1L
2	E2HM	RW	1	屏蔽 STATE (0x84) 的 E2H
3	E2LM	RW	1	屏蔽 STATE (0x84) 的 E2L
6	E4HM	RW	1	屏蔽 STATE (0x84) 的 E4H
7	E4LM	RW	1	屏蔽 STATE (0x84) 的 E4L

当 STATCEOFM 中的位设置为 0 时，寄存器 STATCEOF (0x85) 中的位将停止心跳。当 STATCEOFM 寄存器的某个位设置为 1 时，心跳不受寄存器 STATCEOF (0x85) 的相应位影响。

表 47. 电荷、电能溢出警报屏蔽 STATCEOFM (0x8D)

位	符号	类型	默认值	操作
0	C1OFM	RW	1	屏蔽 STATCEOF (0x85) 的 C1OVF
1	C2OFM	RW	1	屏蔽 STATCEOF (0x85) 的 C2OVF
2	C3OFM	RW	1	屏蔽 STATCEOF (0x85) 的 C3OVF
4	E1OFM	RW	1	屏蔽 STATCEOF (0x85) 的 E1OVF
5	E2OFM	RW	1	屏蔽 STATCEOF (0x85) 的 E2OVF
7	E4OFM	RW	1	屏蔽 STATCEOF (0x85) 的 E4OVF

寄存器说明

当 STATTB_M 中的位设置为 0 时，寄存器 STATTB (0x86) 中的位将停止心跳。当 STATTB_M 寄存器的某个位设置为 1 时，心跳不受寄存器 STATTB (0x86) 的相应位影响。

表 48. 时基警报 STATTB_M (0x8E)

位	符号	类型	默认值	操作
0	T1THM	RW	1	屏蔽 STATTB(0x86) 的 T1TH
1	T2THM	RW	1	屏蔽 STATTB(0x86) 的 T2TH
2	T3THM	RW	1	屏蔽 STATTB(0x86) 的 T3TH
3	T4THM	RW	1	屏蔽 STATTB(0x86) 的 T4TH
4	T1OFM	RW	1	屏蔽 STATTB(0x86) 的 T1OVF
5	T2OFM	RW	1	屏蔽 STATTB(0x86) 的 T2OVF
6	T3OFM	RW	1	屏蔽 STATTB(0x86) 的 T3OVF
7	T4OFM	RW	1	屏蔽 STATTB(0x86) 的 T4OVF

当 STATVCC_M 中的位设置为 0 时，寄存器 STATVCC (0x87) 中的位将停止心跳。当 STATVCC_M 寄存器的某个位设置为 1 时，心跳不受寄存器 STATVCC (0x87) 的相应位影响。

表 49. V_{CC} 阈值警报 STATVCC_M (0x8F)

位	符号	类型	默认值	操作
0	VCCH	RW	1	屏蔽 STATVCC (0x87) 的 VCCH
1	VCCL	RW	1	屏蔽 STATVCC (0x87) 的 VCCL

注意，STATVCC (0x87) 中报告过流比较器 OCC1 和 OCC2 的结果的位在 STATVCC_M 中没有对应的屏蔽位。因此，OCC1 和 OCC2 对 GPO4 或 GPO5 上的心跳的影响无法被屏蔽。如果不需要过流比较，须将 OCCxCTRL 中的使能位清零（默认）。

控制寄存器

控制寄存器选择多路复用器输入，控制电荷、电能和时间的累计，配置 GPO 引脚，设置过流比较器阈值，以及设置时基（若使用外部时钟）。

过流控制寄存器允许设置过流比较器阈值和去毛刺滤波器，另请参见“过流比较器”部分。

表 50. OCC1CTRL (0xDE)

位	符号	类型	默认值	操作
0	OCC1EN	RW	0	OCC1 使能位。GPO5 配置为心跳
[3:1]	OCC1DAC [2:0]	RW	000	OCC1 阈值设置位，参见表 6 (OCC 阈值)
[5:4]	OCC1DGLT [1:0]	RW	00	OCC1 去毛刺时间设置位，参见表 7 (OCC 去毛刺时间)
[7:6]	OCC1POL [1:0]	RW	00	OCC1 极性设置位，参见表 5 (OCC 极性配置)

表 51. OCC2CTRL (0xDF)

位	符号	类型	默认值	操作
0	OCC2EN	RW	0	OCC2 使能位。GPO5 配置为心跳
[3:1]	OCC2DAC [2:0]	RW	000	OCC2 阈值设置位，参见表 6 (OCC 阈值)
[5:4]	OCC2DGLT [1:0]	RW	00	OCC2 去毛刺时间设置位，参见表 7 (OCC 去毛刺时间)
[7:6]	OCC2POL [1:0]	RW	00	OCC2 极性设置位，参见表 5 (OCC 极性配置)

寄存器说明

累加器控制和死区寄存器允许控制 Charge1、Energy1、Charge2、Energy2、Charge3 和 Energy4 (C1、E1、C2、E2、C3、E4) 的累加。基于测得电流的符号和绝对值，可以使能、禁用或有条件使能累加。C1 包含累计的 I1，C2 包含累计的 I2，E1 包含累计的 P1，E2 包含累计的 P2。C3 包含增益设置参数加权的 I1 和 I2 的累加和 (参见“增益配置寄存器”部分)，E4 包含 P1 和 P2 的累计加权和。例如，设置 ACCCTRL1 的位 0 和 ACCCTRL2 的位 1，C1 便包含正电流 I1 的累计值，C3 包含负电流的累计值。

表 52. 累加器控制 ACCCTRL1 (0xE1)

位	符号	类型	默认值	操作
[1:0]	ACC1I1[1:0]	RW	00	Charge1/Charge2 和 Energy1/Energy2 的累加控制。 00: 累加一直发生， 01: 仅当电流为正时发生， 10: 仅当电流为负时发生， 11: 不发生累加。
[3:2]	ACC2I2[1:0]	RW	00	

表 53. 累加器控制 ACCCTRL2 (0xE2)

位	符号	类型	默认值	操作
[1:0]	ACC3I1[1:0]	RW	00	Charge3 和 Energy4 的累加控制。 00: 累加一直发生， 01: 仅当电流为正时发生， 10: 仅当电流为负时发生， 11: 不发生累加。
[3:2]	ACC3I2[1:0]	RW	00	
[5:4]	ACC4I1[1:0]	RW	00	
[7:6]	ACC4I2[1:0]	RW	00	

长时间积分之后，电流测量路径中的小失调电压会导致较大的电荷误差。累加器死区寄存器允许设置 I1 和 I2 的最小绝对值，超过该值才累加。

表 54. 累加死区 ACCIDB1 (0xE4)

位	符号	类型	默认值	操作
[7:0]	ACCIDB1	RW	0x0	用于累加的电流 1 死区。如果 I1 的绝对值大于或等于该值，则累加 I1 和 P1，并更新 C1、E1、C3、E4。更新之后立即与各个阈值进行比较。如果 I1 的绝对值较小，则不会累加 I1 和 P1，也不会更新 C1 和 E1。单位与电流 I1 (0x90) 的 LSB 相同。

表 55. 累加死区 ACCIDB2 (0xE5)

位	符号	类型	默认值	操作
[7:0]	ACCIDB2	RW	0x0	用于累加的电流 2 死区。如果 I2 的绝对值大于或等于该值，则累加 I2 和 P2，并更新 C2、E2、C3、E4。更新之后立即与各个阈值进行比较。如果 I2 的绝对值较小，则不会累加 I2 和 P2，也不会更新 C2 和 E2。单位与电流 I2 (0x96) 的 LSB 相同。

寄存器说明

时基控制寄存器选择内部或外部参考时钟，并在使用外部参考时钟时设置时基参数。设置 PRE[2:0] = 111b 或 7d (默认值) 可使能内部参考时钟。要使用外部参考时钟，须根据外部时钟频率设置 PRE[2:0] 和 DIV[4:0] 的值。有关更多信息，参见“时基控制”部分。

表 56. 时基控制 TBCTRL (0xE9), 默认值: 0x07

位	符号	类型	默认值	操作
[2:0]	PRE [2:0]	RW	111	预分频值 [2:0], 二进制编码, 见表 2。采用外部时钟的参数 PRE
[7:3]	DIV [4:0]	RW	00000	分频器值 [4:0], 二进制编码, 见表 3

多路复用器输入由多路复用器控制寄存器选择。对于每个多路复用器输出 MUXP 和 MUXN, 一个 5 位字选择与之相连的输入。

表 57. MUX 设置

MUXP/MUXN 设置		所选输入
二进制 [4:0]	十进制	
11XXX	31-24	保留
10111	23	VREF2, 通过 250k, 更多信息参见《安全手册》
10110	22	VREF2
10101	21	保留
10100	20	CF1P
10011	19	CF1M
10010	18	CF2P
10001	17	CF2M
10000	16	VBATP
01111	15	VBATM
01110	14	IPT, 更多信息参见《安全手册》
01101	13	IMT, 更多信息参见《安全手册》
01100	12	V12
01011	11	V11
01010	10	V10
01001	9	V9
01000	8	V8
00111	7	V7
00110	6	V6
00101	5	V5
00100	4	V4
00011	3	V3
00010	2	V2
00001	1	V1
00000	0	AGND

寄存器说明

在慢速高精度模式下，辅助通道（CHAUX）以循环模式转换两个差分输入信号。对于两个时槽中的每个时槽，复用到 MUXP 和 MUXN 的输入都可以通过设置以下四个寄存器中对应的 5 位来选择。

在快速模式下，辅助通道（CHAUX）仅转换一个差分输入信号，该信号可以通过选择快速 MUXP 和 MUXN 控制寄存器中对应的 5 位设置来选择。

在快速连续测量期间，无法更改 AUX MUX 配置。参见“快速测量时序”部分中的注释。

表 58. 慢速模式下的多路复用器控制寄存器

地址	位	符号	类型	默认值	操作
0xEB	[4:0]	SLOT1MUXN [4:0]	RW	00000	Slot1 MUXN [4:0] 设置，二进制编码，见表 57
0xEC	[4:0]	SLOT1MUXP [4:0]	RW	00000	Slot1 MUXP [4:0] 设置，二进制编码，见表 57
0xED	[4:0]	SLOT2MUXN [4:0]	RW	00000	Slot2 MUXN [4:0] 设置，二进制编码，见表 57
0xEE	[4:0]	SLOT2MUXP [4:0]	RW	00000	Slot2 MUXP [4:0] 设置，二进制编码，见表 57

表 59. 快速模式的多路复用器控制寄存器

地址	位	符号	类型	默认值	操作
0xF3	[4:0]	FAMUXN [4:0]	RW	00000	快速模式 MUXN [4:0] 设置，二进制编码，见表 57
0xF4	[4:0]	FAMUXP [4:0]	RW	00000	快速模式 MUXP [4:0] 设置，二进制编码，见表 57

快速控制寄存器允许配置和触发快速转换。

写入 FGPIOCTRL 和 FACTRL 有时序限制，参见 FGPIOCTRL 的说明。

表 60. 快速控制寄存器 FACTRL (0xF5)

位	符号	类型	默认值	操作
0	FACONV	RW	0	连续快速转换使能 (1) / 禁用 (0)。如果 FACHA、FACH1、FACH2 中至少有一位设置为 1，则将转换结果写入 FIFO。
1	FACHA	RW	0	通道 AUX 快速模式配置位。在 FACONV 的上升沿之后几微秒，或发出 ADCV 命令后，快速转换就会开始。
2	FACH1	RW	0	通道 1 快速模式配置位。在 FACONV 的上升沿之后几微秒，或发出 ADCV 命令后，快速转换就会开始。
3	FACH2	RW	0	通道 2 快速模式配置位。在 FACONV 的上升沿之后几微秒，或发出 ADCV 命令后，快速转换就会开始。

寄存器说明

通过设置 0xF1 和 0xF2 中的相应 GPO CTRL 位, GPO 控制寄存器允许将 GPO 引脚配置为三态、低电平、高电平或以 400kHz 频率切换。

GPO4 和 GPO5 可以用作心跳引脚, 以 400kHz 的频率切换, 并在出现警报时变为静态低电平。GPO5 通过使能任意过流比较器来激活, 并专门用于这些比较器发出的警报, 而 GPO4 可以通过 GPO4 心跳控制寄存器 (0xE8) 来配置, 以对任何未被屏蔽寄存器屏蔽的警报做出响应。GPO4 心跳控制寄存器中的设置会覆盖 0xF2 中的 GPO4CTRL 设置。类似地, 使能过流比较器会覆盖 0xF1 中的 GPO5CTRL 设置。

表 61. GP04 心跳控制 GPIO4HBCTRL (0xE8)

位	符号	类型	默认值	操作
0	GP04HBEN	RW	0	GP04 心跳主机使能控制 0: GP04 未配置为心跳信号。 1: GP04 配置为心跳信号, 未屏蔽的警报 (参见屏蔽寄存器) 会停止 GP04 的心跳

表 62. 电流源和 GPO5 控制 FCURGPIOCTRL (0xF1)

位	符号	类型	默认值	操作
[1:0]	GPO5CTRL [1:0]	RW	00	GPO5 CTRL; [00]=三态 [01]=LOW(DGND), [10]=以 400kHz 切换 [11]=HIGH(DVCC)
4	MUXPCURPOL	RW	0	0: MUXP 灌电流 250μA 1: MUXP 拉电流 250μA
5	MUXPCUREN	RW	0	0: MUXP 电流源关闭 1: MUXP 电流源开启
6	MUXNCURPOL	RW	0	0: MUXN 灌电流 250μA 1: MUXN 拉电流 250μA
7	MUXNCUREN	RW	0	0: MUXN 电流源关闭 1: MUXN 电流源开启

MUXP 和 MUXN 的 250μA 电流源允许在所有多路复用器输入上进行开路检测。如果使能, 则无论是快速通道还是慢速通道, 电流源都会在 ADC 连接的时间内连接到输入并执行转换。通常, 开路检测是利用快速通道执行, 首先写入电流源、GPO 和 MUX 控制寄存器 (将 4 字节写入 0xF1-0xF4), 发送 ADCV 以触发快速转换, 使用 RDCV 读取结果, 最终再次将 4 个字节写入 0xF1-0xF4, 以设置下一个 MUX 输入和电流源配置。这样, 专用引脚上使能电流源的时间就能精确定时。有关更多信息, 请参见《安全手册》。

MUXP 上使能的电流源会改变 VREF 的内部测量值 (当 MUXPCURPOL = 1/0 时, 约为 4V/0.7V), 此变化在外部 VREF 引脚上不可见。如果使能, NTC 温度测量和分流电阻的温度漂移补偿也会改变, 因为它们取决于内部 VREF 测量值。正确 VREF 电压总是可以通过与一个 V_x 引脚的外部连接来测量, 另请参见“未使用输入引脚 V1-V12”部分。

寄存器说明

表 63. GPO 控制 FGPIOCTRL (0xF2)

位	符号	类型	默认值	操作
[1:0]	GPO1CTRL [1:0]	RW	00	GPO1-4 CTRL: [00]=三态 [01]=LOW(DGND), [10]=以 400kHz 切换 [11]=HIGH(DVCC)
[3:2]	GPO2CTRL [1:0]	RW	00	
[5:4]	GPO3CTRL [1:0]	RW	00	
[7:6]	GPO4CTRL [1:0]	RW	00	

如果设置为三态，则可以根据表 57 选择相应的多路复用器设置，将 GPO 引脚用作辅助通道的模拟输入 (V8-V12)。

写入寄存器 FCURGPIOCTRL 不会立即生效。相反，只有在写入 FGPIOCTRL 后，所有更改才会生效。因此，建议总是在单个突发操作中写入这两个寄存器。

另外，写入 FGPIOCTRL 和 FACTRL 有时序限制。写入这些寄存器务必延迟至少 1ms。因此，不允许在单个突发操作中写入 FGPIOCTRL 和 FACTRL。通常，这可以通过对控制这些寄存器的代码段进行适当划分来轻松实现。

表 64. RDCV 间接地址 (0xFC)

位	符号	类型	默认值	操作
[7:0]	RDCVIADDR	RW	0	通过 RDCV 命令间接访问存储器的地址指针，参见“间接寻址 RDCV 命令”部分

以下寄存器仅用于软件调试目的。它允许主机控制器与 CORE 系统时钟同步。存储器页面 0 的最后一个寄存器更新之后，CORE 将 DBGCNT 复位。这通常发生在慢速模式电流/功率转换 (I1、I2、P1、P2 的 EOC) 结束后 23ms。

表 65. DBGCNT (0xD5)

符号	SI/UI	操作
DBGCNT	UI	调试计数器，以毫秒为单位，每个内核周期复位一次。在 MEASURE 模式下，它通常从 0 数到 100；在 STANDBY 模式下，它通常从 0 数到 17。

寄存器说明

寄存器映射 PAGE1

LTC2949 寄存器映射的 PAGE1 包含阈值和配置寄存器。阈值寄存器允许为每个测量量设置阈值。配置寄存器允许存储应用和电路板特定的参数和设置，这些参数和设置在操作过程中通常无需修改。

软件复位

LTC2949 具有软件复位特性，如下表所述。

表 66. RSTUNLCK (p1.0xA9)

符号	操作
RSTUNLCK	<p>向该寄存器写入 0x55 会解锁 OPCTRL 中的 RESET 功能。将 LTC2949 置于 SLEEP 模式之后，向 OPCTRL 写入值为 0x80 的命令将发出复位信号。复位 LTC2949 的详细步骤如下：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 将 0 写入 OPCTRL (0xF0) 2. 将 0x55 写入 RSTUNLCK (第 1 页的 0xA9) 3. 等待 130ms 4. 进入 SLEEP 状态 (设置 OPCTRL 中的 SLEEP 位) 5. 等待 20ms 6. 将 0x80 写入 OPCTRL (0xF0)

阈值寄存器

阈值寄存器为每个测量量设置阈值。当测量值超过阈值时，将会触发警报，并设置阈值和溢出警报寄存器 (0x81 至 0x87) 中的相应位。在寄存器 GPIO4HBCCTRL (0xE8) 中使能 GPO4 心跳后，寄存器 (0x88 至 0x8F) 中未屏蔽的警报将会停止 GPO4 上的心跳信号。值的缩放与对应结果寄存器值的缩放方式相同，使用表 26、表 27 和表 28 “非累计结果寄存器参数”中的 LSB 值。

表 67. 阈值寄存器

地址	名称	类型	默认值	参数
p1.0x00	C1TH[47:0]	RW	0x7FFF FFFF FFFF	Charge1 高阈值
p1.0x06	C1TL[47:0]	RW	0x8000 0000 0000	Charge1 低阈值
p1.0x0C	TB1TH[31:0]	RW	0xFFFF FFFF	Timebase1 高阈值
p1.0x10	E1TH[47:0]	RW	0x7FFF FFFF FFFF	Energy1 高阈值
p1.0x16	E1TL[47:0]	RW	0x8000 0000 0000	Energy1 低阈值
p1.0x20	C2TH[47:0]	RW	0x7FFF FFFF FFFF	Charge2 高阈值
p1.0x26	C2TL[47:0]	RW	0x8000 0000 0000	Charge2 高阈值
p1.0x2C	TB2TH[31:0]	RW	0xFFFF FFFF	Timebase2 高阈值
p1.0x30	E2TH[47:0]	RW	0x7FFF FFFF FFFF	Energy2 高阈值
p1.0x36	E2TL[47:0]	RW	0x8000 0000 0000	Energy2 低阈值
p1.0x44	C3TH[63:0]	RW	0x7FFF FFFF FFFF FFFF	Charge3 高阈值
p1.0x4C	TB3TH[31:0]	RW	0xFFFF FFFF	Timebase3 高阈值
p1.0x54	C3TL[63:0]	RW	0x8000 0000 0000 0000	Charge3 低阈值

寄存器说明

表 67. 阈值寄存器 (续)

地址	名称	类型	默认值	参数
p1.0x64	E4TH[63:0]	RW	0x7FFF FFFF FFFF FFFF	Energy4 高阈值
p1.0x6C	TB4TH[31:0]	RW	0xFFFF FFFF	Timebase4 高阈值
p1.0x74	E4TL[63:0]	RW	0x8000 0000 0000 0000	Energy4 低阈值
p1.0x80	I1TH[15:0]	RW	0x7FFF	Current1 高阈值
p1.0x82	I1TL[15:0]	RW	0x8000	Current1 低阈值
p1.0x84	P1TH[15:0]	RW	0x7FFF	Power1 高阈值
p1.0x86	P1TL[15:0]	RW	0x8000	Power1 低阈值
p1.0x88	I2TH[15:0]	RW	0x7FFF	Current2 高阈值
p1.0x8A	I2TL[15:0]	RW	0x8000	Current2 低阈值
p1.0x8C	P2TH[15:0]	RW	0x7FFF	Power2 高阈值
p1.0x8E	P2TL[15:0]	RW	0x8000	Power2 低阈值
p1.0x90	BATTH[15:0]	RW	0x7FFF	BAT 高阈值
p1.0x92	BATTL[15:0]	RW	0x8000	BAT 低阈值
p1.0x94	TEMPTH[15:0]	RW	0x7FFF	芯片温度高阈值
p1.0x96	TEMPTL[15:0]	RW	0x8000	芯片温度低阈值
p1.0x98	VCCTH[15:0]	RW	0x7FFF	VCC 高阈值
p1.0x9A	VCCTL[15:0]	RW	0x8000	VCC 低阈值
p1.0xA0	SLOT1TH[15:0]	RW	0x7FFF	Slot1 高阈值
p1.0xA2	SLOT1TL[15:0]	RW	0x8000	Slot1 低阈值
p1.0xA4	SLOT2TH[15:0]	RW	0x7FFF	Slot2 高阈值
p1.0xA6	SLOT2TL[15:0]	RW	0x8000	Slot2 低阈值

FLOAT24 格式

以下段落中描述的 NTC 配置参数和增益校正系数以符合 IEEE 754 标准的 FLOAT24 格式表示的浮点数存储。LTC2949 实现方案采用 1 位表示符号, 7 位表示二进制补码格式的指数, 63 为偏置, 16 位表示尾数, 隐含一个值为 1 的前导位, 除非存储的指数为全零。例如, 0.95 的值由 3 字节数 0x3EE666 表示, 如下所示:

表 68. FLOAT24 示例

3E								E6								66							
0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0
符号	指数							尾数 MSB								尾数 LSB							
1 x	2^(62-63) x							(1+0.899994)															

= 0.5 • 1.899994 = 0.94999

控制 LTC2949 演示板的 GUI 支持将数字转换为 FLOAT24。LTC2949 的代码部分 (<https://www.analog.com/cn/products/ltc2949.html#product-tools>) 也为此提供了用 C/C++ 编写的转换函数。

LTC2949.cpp 包含以下转换函数:

```
void LTC2949_FloatToF24Bytes(float f32, byte* bytes)
void LTC2949_F24BytesToFloat(byte* bytes, float* f32)
```

寄存器说明

配置寄存器

以下寄存器允许配置 LTC2949 应用特定的参数。请注意, LTC2949 必须处于 STANDBY 状态, 更新这些寄存器必须通过设置操作控制寄存器 (OPCTRL) 的 ADJUPD 位来请求, 以使更改生效。

ADC 配置寄存器

ADC 配置寄存器允许禁用 P1ADC 和 P2ADC 的功率乘法, 并开启 Slot1/2 测量的 NTC 线性化。

表 69. ADC 配置 ADCCONF (p1.0xDF)

位	符号	类型	默认值	操作
0	P1ASV	RW	0	0: P1ADC 配置为功率模式 1: P1ADC 配置为电压模式
1	P2ASV	RW	0	0: P2ADC 配置为功率模式 1: P2ADC 配置为电压模式
3	NTC1	RW	0	0: SLOT1 电压测量。 SLOT1 输出 LSB = 375 μ V 1: SLOT1 NTC 温度测量。 SLOT1 输出 LSB = 0.2 $^{\circ}$ C
4	NTC2	RW	0	0: SLOT2 电压测量。 SLOT2 输出 LSB = 375 μ V 1: SLOT2 NTC 温度测量。 SLOT2 输出 LSB = 0.2 $^{\circ}$ C
6	NTCSLOT1	RW	0	0: I1 (I2) 的分流电阻的 TC 补偿通过 SLOT1 (SLOT2) 与温度测量相联系。 1: I1 和 I2 的分流电阻的 TC 补偿仅通过 SLOT1 与温度测量相联系。

有关 NTC 温度测量的更多信息, 请参见 NTC 配置寄存器和“温度测量”部分。

有关 P1ASV/P2ASV 对 LSB 大小或功率 ADC 相关测量/设置的影响, 参见表 28 和表 31。

表 70. FACTRL 和 ADCVCONF (PxASV) 配置的允许组合。

FACONV	FACH1	FACH2	P1ASV	P2ASV	快速 BAT (b)	慢速 P1	慢速 P2
X	1	0	X	X	不支持!		
X	0	1	1	1			
X	0	0	X	X	不适用	18 位功率或电压	
X	0	1	0	0	不适用	18 位功率	不适用
X	0	1	0	1	P2	18 位功率	不适用
X	0	1	1	0	不适用	18 位电压	不适用
1	1	1	0	0	不适用	11 位功率 (c)	
1	1	1	0	1	P2	11 位功率 (c)	11 位电压 (c)
1	1	1	1	0	P1	11 位电压 (c)	11 位功率 (c)
1	1	1	1	1	P1	11 位电压 (c)	
0	1	1	0	0	不适用	18 位功率 (a)	
0	1	1	0	1	P2	18 位功率 (a)	18 位电压 (a)
0	1	1	1	0	P1	18 位电压 (a)	18 位功率 (a)
0	1	1	1	1	P1	18 位电压 (a)	

a) 任何快速单次测量都会中断慢速通道的测量。只有在至少 160ms 内没有快速单次测量, 慢速通道才会恢复更新。

b) 通过一个功率 ADC 快速测量 BAT (VBATP-VBATM) 电压。但是, 在快速 (FACHA = 1) 或慢速模式下, 总是可以通过 AUX ADC 测量 VBATP-VBATM。

c) 配置为快速模式的通道的功率 ADC (PxASV = 0) 将通过 P1/P2 寄存器以 100ms 的更新速率提供 11 位转换结果。LSB 大小保持不变, 但在这种情况下, 分辨率只能保证 11 位。

寄存器说明

NTC 配置寄存器

当 ADC 配置寄存器中的 NTC1 和 NTC2 位置 1 时, LTC2949 报告对应 CHAUX 时槽的温度结果, 即将 NTC 电阻与基准电阻进行比较并求解 Steinhart-Hart 方程。NTC 配置寄存器允许设置 Steinhart-Hart 系数 (A、B、C) 和基准电阻值。

此外, 通过紧密热耦合的 NTC 热敏电阻可以补偿最多两个外部检测电阻的线性温度系数。将相应的温度系数及其参考温度 (T_0) 写入 NTC 配置寄存器, 即可使能温度补偿。有关更多信息, 请参见“温度测量和检测电阻温度补偿”部分。

表 71. NTC 配置寄存器

地址	名称	类型	默认值	参数	单位	格式
p1.0xAA	RREF1[23:0]	RW	0x000000	NTC1 基准电阻	Ω	Float24
p1.0xAD	RREF2[23:0]	RW	0x000000	NTC2 基准电阻	Ω	Float24
p1.0xD0	NTC1A[23:0]	RW	0x000000	NTC1 系数 A		Float24
p1.0xD3	NTC1B[23:0]	RW	0x000000	NTC1 系数 B		Float24
p1.0xD6	NTC1C[23:0]	RW	0x000000	NTC1 系数 C		Float24
p1.0xD9	RS1TC[23:0]	RW	0x000000	检测电阻 1 (RS1) 温度系数 (TC)	1/K	Float24
p1.0xDC	RS1T0[16:0]	RW	0x0000	RS1 TC 补偿的基准温度	$^{\circ}\text{C}$	Float24
p1.0xE0	NTC2A[23:0]	RW	0x000000	NTC2 系数 A		Float24
p1.0xE3	NTC2B[23:0]	RW	0x000000	NTC2 系数 B		Float24
p1.0xE6	NTC2C[23:0]	RW	0x000000	NTC2 系数 C		Float24
p1.0xE9	RS2TC[23:0]	RW	0x000000	检测电阻 2 (RS2) 温度系数 (TC)	1/K	Float24
p1.0xEC	RS2T0[16:0]	RW	0x0000	RS2 TC 补偿的基准温度	$^{\circ}\text{C}$	Float24
p1.0x7C	RS1TC2[23:0]	RW	0x000000	检测电阻 1 的二阶 TC	1/K ²	Float24
p1.0x5C	RS2TC2[23:0]	RW	0x000000	检测电阻 2 的二阶 TC	1/K ²	Float24

请注意, 对于两个存储参考温度 RS1T0 和 RS2T0 的 16 位寄存器, 尾数的最低有效字节 (LSB) 隐含为 0

增益配置寄存器

LTC2949 可以在其增益设置寄存器中存储两个电流检测电阻器、电池分压器和四个多路复用器输入的增益校正系数, 以补偿外部元件的容差; 增益设置寄存器位于寄存器映射的测量页面 1 的 0xB0 和 0xCF 之间。将这些系数设置为非默认值 1.0 时, LTC2949 会相应地校正电流、电压、功率、电荷和电能的计算值。LTC2949 累加器可以配置为计算流过两个检测电阻的电荷和电能之和, 所以也可以存储两个检测电阻的标称比 $\text{RSRATIO} = R_{S1}/R_{S2}$ 。然后, LTC2949 将 CH2 (I2、P2) 的测量值乘以 RSRATIO, 再将其加到电荷 (C3) 或电能 (E4) 之和上。所有这些系数均按照上述符合 IEEE 754 标准的 Float24 格式存储。

表 72. 增益配置寄存器

地址	名称	类型	默认值	参数	格式
p1.0xB0	RS1GC[23:0]	RW	0x3F00 00	检测电阻 1 (R_{S1}) 增益校正系数	Float24
p1.0xB3	RS2GC[23:0]	RW	0x3F00 00	检测电阻 2 (R_{S2}) 增益校正系数	Float24
p1.0xB6	RSRATIO[23:0]	RW	0x3F00 00	R_{S1} 与 R_{S2} 的标称比	Float24
p1.0xB9	BATGC[23:0]	RW	0x3F00 00	BAT 增益校正系数	Float24
p1.0xC0	MUX1GC[23:0]	RW	0x3F00 00	MUX 设置 1 的增益校正系数	Float24
p1.0xC3	MUX2GC[23:0]	RW	0x3F00 00	MUX 设置 2 的增益校正系数	Float24
p1.0xC6	MUX3GC[23:0]	RW	0x3F00 00	MUX 设置 3 的增益校正系数	Float24
p1.0xC9	MUX4GC[23:0]	RW	0x3F00 00	MUX 设置 4 的增益校正系数	Float24

寄存器说明

表 72. 增益配置寄存器 (续)

地址	名称	类型	默认值	参数	格式
p1.0xBC	MUXPSET1[4:0]	RW	0x00	MUXP 增益校正设置 1	MUXP 二进制编码, 见表 57
p1.0xBD	MUXNSET1[4:0]	RW	0x00	MUXN 增益校正设置 1	MUXN 二进制编码, 见表 57
p1.0xBE	MUXPSET2[4:0]	RW	0x00	MUXP 增益校正设置 2	MUXP 二进制编码, 见表 57
p1.0xBF	MUXNSET2[4:0]	RW	0x00	MUXN 增益校正设置 2	MUXN 二进制编码, 见表 57
p1.0xCC	MUXPSET3[4:0]	RW	0x00	MUXP 增益校正设置 3	MUXP 二进制编码, 见表 57
p1.0xCD	MUXNSET3[4:0]	RW	0x00	MUXN 增益校正设置 3	MUXN 二进制编码, 见表 57
p1.0xCE	MUXPSET4[4:0]	RW	0x00	MUXP 增益校正设置 4	MUXP 二进制编码, 见表 57
p1.0xCF	MUXNSET4[4:0]	RW	0x00	MUXN 增益校正设置 4	MUXN 二进制编码, 见表 57

例如, 如果 CH1 使用标称值为 $100\mu\Omega$ 的检测电阻, 但电路板校准显示该检测电阻值为 $102\mu\Omega$, 则应将 $100/102 = 0.9804$ 的系数写入 $RS1GC[23:0] = \text{float24}(0.9804) = 0x3EF5F5$ 。

假设 CH2 使用标称值为 $10m\Omega$ 但实际值为 $9.8m\Omega$ 的检测电阻, 则应将系数 1.024 写入 $RS2GC[23:0] = \text{float24}(1.024) = 0x3F0624$, 并将系数 0.01 写入 $RSRATIO[23:0] = \text{float24}(0.01) = 0x3847AE$ 。

在许多应用中, LTC2949 使用外部电阻分压器来测量高电压, 电阻容差会引起电阻分压器发生增益误差。LTC2949 允许存储电池电压测量和四个可编程 MUX 设置的增益校正系数。例如: 如果寄存器 $MUX1GC[23:0] = 0x3ECCCC$ 、 $MUXPSET1[7:0] = 0x01$ 且 $MUXNSET1[7:0] = 0x02$, 则 LTC2949 将对 V1 和 V2 之间的差分测量结果应用 0.9 的增益校正, 另请参见表 57。

$MUX[1-4]GC$ 和 $MUX[P,N]SET[1-4]$ 之间的分配与 MUX 设置的极性无关。与上面的例子相关, 对测量 V1-V2 和 V2-V1 应用相同的增益校正。另外, 交换 $MUXPSET1$ 和 $MUXNSET1$ 的寄存器值也会导致相同的行为。表 73 总结了增益校正参数与测量结果之间的联系。

可以将所有增益配置寄存器复制到外部 EEPROM, 从而以模块化方法对应用电路板进行工厂校准。

表 73. 增益校正参数与测量结果的关系

名称	受影响的测量
BATGC	慢速和快速测量的 BAT P1、P2、E1、E2、E4 SLOT[1,2] AUX 测量, 如果 SLOT[1,2]MUX[P,N] 设置为任意极性的 VBATP、VBATM 快速 AUX 转换, 如果 FAMUX[P,N] 设置为任意极性的 VBATP、VBATM
MUX[1-4]GC	SLOT[1,2] AUX 测量, 如果 SLOT[1,2]MUX[P,N] 与任意极性的 MUX[P,N]SET[1-4] 匹配
RS[1,2]GC	I1、I2、P1、P2、C1、C2、C3、E1、E2、E4
RSRATIO	C3、E4 (注意: 累计到 C3 的电荷为 $(I1 + RSRATIO \cdot I2) \cdot dT$, 累计到 E4 的电能为 $(P1 + RSRATIO \cdot P2) \cdot dT$)

寄存器说明

外部 EEPROM 控制寄存器

为了防止数据在 LTC2949 不通电时丢失，可以通过专用 I²C 接口将其全部寄存器内容存储到外部 EEPROM 中。与 EEPROM 的通信由 EEPROM 控制寄存器 (EEPROMCTRL) 控制。

表 74. EEPROM 控制寄存器 EEPROMCTRL (p1.0x50)

位	符号	类型	默认值	操作	持续时间
0	INIT	SO	0	将签名写入 EEPROM	40ms
1	CHECK	SO	0	检查 EEPROM 中的签名	25ms
2	SAVE	SO	0	将 MEM (特殊行除外) 保存到 EEPROM	1100ms
3	RESTORE	SO	0	将 EEPROM 恢复到 MEM (特殊行除外)	1250ms
4	INITRSL	RW	0	INIT 的结果	
5	CHECKRSL	RW	0	CHECK 的结果	
6	SAVERSL	RW	0	SAVE 的结果	
7	RESTORERSL	RW	0	RESTORE 的结果	

EEPROMCTRL 的低 4 位为“仅设置”位，用于触发与 EEPROM 的专用通信，而高 4 位为读/写位，成功终止通信时，由 LTC2949 在“持续时间”一栏中给出的典型时间后设置，且必须由主机的写命令复位，然后才能请求下一次通讯。

在进行任何其他交互之前，必须通过设置 INIT 位来初始化 EEPROM，这会使 LTC2949 将规定的签名写入 EEPROM。写入签名后，如果 EEPROM 已根据 I²C 协议进行应答，LTC2949 将复位 INIT 位并设置 INITRSL 位。与 EEPROM 进行任何其他交互之前，都要读取并检查该签名。此外，通过设置 CHECK 位，并在 LTC2949 将 CHECK 位复位后验证 CHECKRSL 位是否置 1，也可以检查签名。

设置 SAVE 位将导致 LTC2949 把除两个寄存器页面的最后一个公共行之外的全部存储器内容与依据全部寄存器内容计算出的 CRC 一起保存到 EEPROM。基于签名检查和 EEPROM 的应答，LTC2949 设置 SAVERSL 位以表示保存操作成功。

设置 RESTORE 位将导致 LTC2949 把 EEPROM 的内容复制到其内部 RAM，计算 CRC，若 CRC 正确则设置 RESTORERSL 位。

与外部 EEPROM 的任何通信都要求 LTC2949 处于 STANDBY 模式，以防数据丢失或数据损坏。

许多应用需要存储其他自定义数据，例如序列号。保留寄存器 p1.0x1C - p1.0x1F (4 字节) 和 p1.0x3C - p1.0x3F (4 字节) 可用于此目的。此外，不需要电路板特定的初始化 (因此由主机控制器初始化) 的 LTC2949 寄存器也可用于存储自定义数据。例如，所有累加器要么只是初始化为零，要么通过某种荷电状态算法初始化。所有阈值通常都是硬编码或由系统中的某个更高实例进行初始化。多路复用器设置寄存器可通过编程进行调整。最小值/最大值跟踪寄存器可以由主机控制器初始化。图 18 所示的寄存器映射概要说明了这些寄存器。使用所有这些寄存器的话，自定义数据字节的数量可增加到 240 字节。

要访问此数据，主机须发出 EEPROM RESTORE (恢复) 命令，读取所有带自定义数据的寄存器，然后将其初始化为所需的值。

寄存器说明

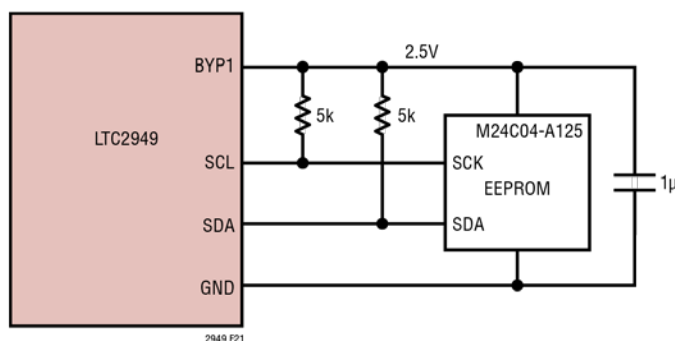


图 21. EEPROM 连接。推荐的内置 EEC 的 4k 位汽车应用认证 EEPROM：STMicroelectronics 的 M24C04-A125；或无内置 EEC 的产品：Microchip 的 AT24C04C 或 24AA04。

应用信息

温度测量

借助热敏电阻和基准电阻，LTC2949 的高阻抗输入 V1-V12 可用来测量温度，如下所示。

当 ADC 配置寄存器中的 NTC1 或 NTC2 位置 1 时，LTC2949 在慢速高精度模式下报告对应 CHAUX 时槽的温度结果，即将热敏电阻 (NTC) R_{NTC} 与基准电阻进行比较并求解 Steinhart-Hart 方程。

$$\frac{1}{T} = A + B \cdot \ln R_{NTC} + C \cdot (\ln R_{NTC})^3$$

基准电阻 R_{REF} 的值和 Steinhart-Hart 系数 (A、B、C) 需要存储在 NTC 配置寄存器中。Steinhart-Hart 系数通常由热敏电阻制造商测定，或者可以从所提供的电阻表中推导出来。

针对图 22 所示应用，下表显示了 NTC 配置寄存器中的相关寄存器。

测量 VREF 所用的 ADC 与测量 V1-V12 所用的 ADC 相同，所以 VREF 的缺陷和 ADC 的增益误差不会影响温度测量精度。

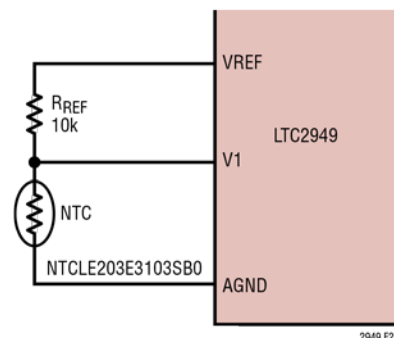


图 22. 连接热敏电阻

表 75. NTC 配置寄存器中的 NTC1 值

参数	值	单位	地址	名称	值	格式
NTC1 基准电阻	10k	Ω	p1.0xAA	RREF1[23:0]	0x4C3880	Float24
NTC1 系数 A	1.1382e-3		p1.0xD0	NTC1A[23:0]	0x352A5F	Float24
NTC1 系数 B	2.3267e-4		p1.0xD3	NTC1B[23:0]	0x32E7F1	Float24
NTC1 系数 C	0.93243e-7		p1.0xD6	NTC1C[23:0]	0x279079	Float24

应用信息

检测电阻温度补偿

LTC2949 可以配置为根据外部 NTC 的温度测量结果来补偿所用电流检测电阻的最高 2 阶的温度依赖性。在 NTC 配置寄存器中写入检测电阻的温度系数 (TC, TC2) 和基准温度 (T_0), 即使能补偿。然后, LTC2949 就会补偿温度引起的检测电阻相对于其标称值 R_0 的偏差, 关系式如下:

$$R_{\text{SENSE}} = R_0 \cdot [1 + TC \cdot (T - T_0) + TC2 \cdot (T - T_0)^2]$$

可以在 NTC 配置寄存器中设置每个检测电阻的温度系数和基准温度。表 76 显示了一个铜质检测电阻的系数设置, 其温度系数为 3900ppm/K, 标称值 R_0 在 20°C 下测量。

如果两个通道均使能温度补偿或使能其中一个, 则连接到 CH1 的检测电阻利用 CHAUX 的第一个时槽中测得的 NTC1 温度来补偿, 连接到 CH2 的检测电阻利用 CHAUX 的第二个时槽中测得的 NTC2 温度来补偿。多路复用器的设置应使得在相应的时槽中选择连接到对应 NTC 的输入引脚。如果 CHAUX 更改为快速模式, 则使用循环模式下获取的最后 NTC 温度测量结果进行温度补偿。

必须从 R 与 T (单位为 K) 电阻表中获得三个值 $R_1(T_1)$ 、 $R_2(T_2)$ 、 $R_3(T_3)$, 求解如下线性方程组以计算 A , B , C :

$$\begin{pmatrix} T_1^{-1} \\ T_2^{-1} \\ T_3^{-1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & \ln R_1 & \ln^3 R_1 \\ 1 & \ln R_2 & \ln^3 R_2 \\ 1 & \ln R_3 & \ln^3 R_3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} A \\ B \\ C \end{pmatrix}$$

求解线性方程组后, A 、 B 、 C 可以表示为:

$$l_1 = \ln R_1$$

$$l_2 = \ln R_2$$

$$l_3 = \ln R_3$$

$$m_2 = \frac{T_2^{-1} - T_1^{-1}}{l_2 - l_1}$$

$$m_3 = \frac{T_3^{-1} - T_1^{-1}}{l_3 - l_1}$$

$$C = \frac{m_3 - m_2}{l_3 + l_2 + l_1}$$

$$B = m_2 - C \cdot (l_1^2 + l_1 \cdot l_2 + l_2^2)$$

$$A = T_1^{-1} - (B + l_1^2 \cdot C) \cdot l_1$$

应用信息

对于单分流电阻方案，可以使用一个 NTC 在 SLOT1 测得的温度来补偿两个通道。参见 ADCCONF 的 NTC SLOT1 位。

isoSPI 设置

LTC2949 允许各种应用中的 isoSPI 链路针对功耗或抗扰度进行优化。isoSPI 系统的功耗和抗扰度由所设置的 I_B 电流决定。 I_B 电流的范围是 $100\mu\text{A}$ 至 1mA 。低 I_B 可降低 READY 和 ACTIVE 状态下的 isoSPI 功耗，而高 I_B 可提高匹配端接电阻 R_M 两端的差分信号电压 V_A 的幅度。 I_B 由连接在 I_{BIAS} 引脚和 GND 之间的 R_{B1} 与 R_{B2} 电阻之和编程，如图 23 所示。在大多数应用中，将 I_B 设置为 0.5mA 可以很好地

兼顾功耗和抗扰度。使用此 I_B 设置以及 1:1 变压器和 $R_M = 100\Omega$ 时，应将 R_{B1} 设置为 2.8k ，将 R_{B2} 设置为 1.2k 。对于典型 CAT5 双绞线，这些设置支持长达 50m 的通信距离。对于要求电缆长度超过 50m 的应用，建议将 I_B 增加到 1mA 。这样可以补偿电缆中插入损耗的增加，并保持高抗扰度。因此，当使用长度超过 50m 的电缆时，如果同样使用匝数比为 1:1 且 $R_M = 100\Omega$ 的变压器，则 R_{B1} 将为 1.4k ， R_{B2} 将为 600Ω 。根据应用需要，也可以使用其他 I_B 设置来降低功耗或提高抗扰度。在这些情况下，设置阈值电压 V_{ICMP} 并选择 R_{B1} 和 R_{B2} 电阻值时，应使用以下规则：

表 76. 检测电阻温度系数

参数	值	单位	地址	名称	值	格式
检测电阻 1 (RS1) 温度系数 (TC)	0.0039	1/K	p1.0xD9	RS1TC[23:0]	0x36FF2E	Float24
RS1 TC 补偿的基准温度	20	°C	p1.0xDC	RS1T0[16:0]	0x4340	Float24, 2 字节

注释：对于铜，仅一阶温度系数有意义，因此 $\text{TC2} = 0.0$ (默认值)。

表 77. 使能检测电阻温度补偿的步骤

	做什么	如何做及哪里做	地址
第 1 步	将 LTC2949 设置为待机模式	OPCTRL 中的 $\text{CONT} = 0$	0xF0
第 2 步	写入 NTC 和 R_{SENSE} 数据	NTC 配置寄存器	参见表 71。
第 3 步	将 AUX 时槽设置为温度模式	ADC 配置寄存器中的 $\text{NTC}_x = 1$	p1.0xDF
第 4 步	选择已连接 NTC 的 MUX 输入通道	复用器设置寄存器	0xEB-0xEE
第 5 步	更新配置寄存器	OPCTRL 中的 $\text{ADJUP} = 1$	0xF0
第 6 步	将 LTC2949 设置为连续模式	OPCTRL 中的 $\text{CONT} = 1$	0xF0

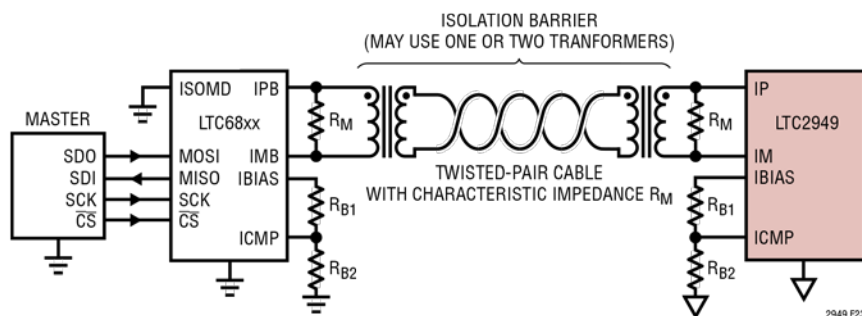


图 23. isoSPI 电路

应用信息

对于 50m 以下的电缆:

$$\begin{aligned} I_B &= 0.5\text{mA} \\ V_A &= (20 \cdot I_B) \cdot (R_M/2) \\ V_{TCMP} &= \frac{1}{2} \cdot V_A \\ V_{ICMP} &= 2 \cdot V_{TCMP} \\ R_{B2} &= V_{ICMP}/I_B \\ R_{B1} &= (2/I_B) - R_{B2} \end{aligned}$$

对于 50m 以上的电缆:

$$\begin{aligned} I_B &= 1\text{mA} \\ V_A &= (20 \cdot I_B) \cdot (R_M/2) \\ V_{TCMP} &= \frac{1}{4} \cdot V_A \\ V_{ICMP} &= 2 \cdot V_{TCMP} \\ R_{B2} &= V_{ICMP}/I_B \\ R_{B1} &= (2/I_B) - R_{B2} \end{aligned}$$

isoSPI 链路的最大数据速率取决于所用电缆的长度。对于 10 米或更短的电缆, 最大 1MHz SPI 时钟频率是可能的。随着电缆长度增加, 最大可能 SPI 时钟速率会降低。这是经过电缆的传播延迟增加导致可能违反时序的结果。图 24 显示了使用 CAT 5 双绞线时, 最大数据速率如何随着电缆长度的增加而降低。电缆延迟影响三个时序规格: t_{CLK} 、 t_6 和 t_7 。在“电气特性”表中, 每个参数减额 100ns, 以顾及 50ns 的电缆延迟。如果电缆更长, 最小时序参数可以按下式计算:

$$t_{CLK}, t_6 \text{ 和 } t_7 > 0.9\mu\text{s} + 2 \cdot t_{CABLE}$$

变压器选择指南

如图 23 所示, 一个变压器或一对变压器隔离两个 isoSPI 端口之间的 isoSPI 信号。isoSPI 信号

的可编程脉冲幅度高达 $1.6V_{P-P}$, 脉冲宽度为 50ns 和 150ns。为了能够以必要的保真度传输这些脉冲, 系统要求变压器的初级电感大于 $60\mu\text{H}$, 匝数比为 1:1。另外, 变压器的漏感应小于 $2.5\mu\text{H}$ 。就脉冲形状而言, 初级电感将主要影响 50ns 和 150ns 脉冲的脉冲下降。如果初级电感过低, 脉冲幅度会在脉冲周期内开始下降并衰减。当脉冲下降足够严重时, 接收器看到的有效脉冲宽度会大大下降, 导致噪声裕量降低。一定的下降是可以接受的, 只要其占总脉冲幅度的百分比相对较小。漏感主要影响脉冲的上升和下降时间。较慢的上升和下降时间会切实减小脉冲宽度。接收器将脉冲宽度确定为信号超过 ICMP 引脚所设置阈值的时间。缓慢的上升和下降时间会缩短时序裕量。一般来说, 脉冲边沿应尽可能快。评估变压器时, 还应注意并联绕组的电容。虽然变压器在低频下具有非常好的 CMRR, 但在较高频率下, 这种抑制会降低, 其原因在很大程度上是由于绕组间电容。选择变压器时, 可能的话, 最好选择并联绕组电容较小的变压器。

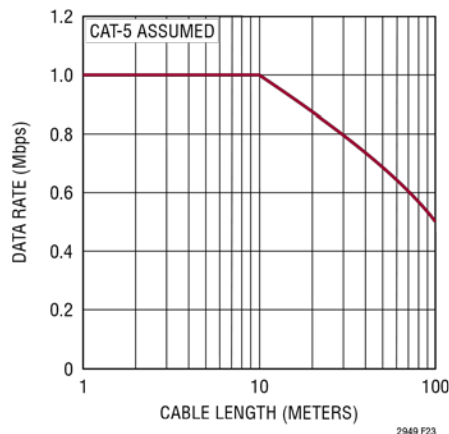


图 24. 数据速率与电缆长度的关系

应用信息

选择变压器时,同样重要的一点是,应选择具有适合应用的充分隔离额定值的器件。为应用选择器件时,变压器的额定工作电压是一个关键指标。互连菊花链链路时,典型应用中的器件承受的应力小于 60V,普通的脉冲和 LAN 型变压器就足够了。一般而言,为了实现良好的长期可靠性,多点连接和与 LTC6820 的连接可能需要高得多的工作电压额定值。通常,工作电压与整个电池包的电压匹配是保守的。遗憾的是,变压器供应商常常仅指定一秒钟高压测试,这并不等于器件的长期(永久)额定值。例如,根据大多数安全标准,1.5kV 额定值的变压器应能连续处理 230V 电压,3kV 器件可以长期处理 1100V 电压,不过制造商可能并不总是保证达到这些水平(具体信息请参阅实际供应商数据)。通常,供应商将高压变压器称为高隔离度或增强绝缘型变压器。表 78 列出了已在 isoSPI 链路中评估过的变压器。

EMC

为了获得最佳电磁兼容性(EMC)性能,建议使用图 25 和图 26 中的电路之一。变压器的中心抽头应通过 10nF 电容旁路。中心抽头电容将有助于衰减共模信号。应避免使用大于 10nF 的大型中心抽头电容,大电容会阻止 isoSPI 发送器的共模电压稳定下来。如果使用不带中心抽头的变压器,端接电阻应分为相等的两半,并通过 IP 和 IM 线串联。如图所示,两个电阻的中心应通过一个电容旁路。为了改善共模电流抑制性能,还应该将一个共模扼流圈与 LTC2949 的 IP 和 IM 线串联。共模扼流圈既能提高 EMI 抗扰度,又能减少 EMI 辐射。选择共模扼流圈时,对于 50MHz 及以下的信号,差模阻抗应为 20Ω 或更小。建议使用类似于以太网应用中的共模扼流圈。

isoSPI 信号线的布局对于最大化电路抗扰度也起着重要作用。应遵循以下布局布线指南:

1. 变压器应放置在尽可能靠近 isoSPI 电缆连接器的位置。距离应小于 2cm。LTC2949 应放置在距变压器至少 1cm 至 2cm 的地方,以帮助将 IC 与磁场耦合隔离。
2. 在顶层元件层上,不得在变压器下方、isoSPI 连接器下方或变压器与连接器之间放置任何接地层。
3. isoSPI 信号走线应通过接地金属或空间与周围电路和走线隔离。任何走线都不应穿过 isoSPI 信号线,除非通过内层上的接地层隔开。

isoSPI 驱动电流是可编程的,可以在功耗和噪声抗扰度之间进行权衡。LTC2949 的噪声抗扰度已利用大电流注入(BCI)测试进行了评估。BCI 测试以 1MHz 至 400MHz 的频率将设定电平的电流注入双绞线。在最小 I_B 电流 100μA 下,isoSPI 串行链路能够通过 40mA BCI 测试而无误码。40mA BCI 测试水平足以满足工业应用。汽车应用对 BCI 的要求要高得多,因此 LTC2949 I_B 设置为 1mA (最大功率水平)。isoSPI 系统能够通过 200mA BCI 测试而无传输误码。200mA 测试水平是汽车应用的典型要求。

应用信息

表 78. 推荐变压器

供应商	产品型号	温度范围	V _{WORKING}	V _{HIPO} T/60S	CT	CMC	H	L	W (含引线)	引脚	AEC- Q200
推荐双变压器											
脉冲	HX1188FNL	–40°C 至 85°C	60V (估计)	1.5kV _{RMS}	●	●	6.0mm	12.7mm	9.7mm	16SMT	–
脉冲	HX0068ANL	–40°C 至 85°C	60V (估计)	1.5kV _{RMS}	●	●	2.1mm	12.7mm	9.7mm	16SMT	–
脉冲	HM2100NL	–40°C 至 105°C	1000V	4.3kVDC	–	●	3.4mm	14.7mm	14.9mm	10SMT	●
脉冲	HM2112ZNL	–40°C 至 125°C	1000V	4.3kVDC	●	●	4.9mm	14.8mm	14.7mm	12SMT	●
Sumida	CLP178-C20114	–40°C 至 125°C	1000V (估计)	3.75kV _{RMS}	●	●	9mm	17.5mm	15.1mm	12SMT	–
Sumida	CLP0612-C20115		600V _{RMS}	3.75kV _{RMS}	●	–	5.7mm	12.7mm	9.4mm	16SMT	–
Würth	7490140110	–40°C 至 85°C	250V _{RMS}	4kV _{RMS}	●	●	10.9mm	24.6mm	17.0mm	16SMT	–
Würth	7490140111	0°C 至 70°C	1000V (估计)	4.5kV _{RMS}	●	–	8.4mm	17.1mm	15.2mm	12SMT	–
Würth	749014018	0°C 至 70°C	250V _{RMS}	4kV _{RMS}	●	●	8.4mm	17.1mm	15.2mm	12SMT	–
Halo	TG110-AE050N5LF	–40°C 至 85/125°C	60V (估计)	1.5kV _{RMS}	●	●	6.4mm	12.7mm	9.5mm	16SMT	●
推荐单变压器											
脉冲	PE-68386NL	–40°C 至 130°C	60V (估计)	1.5kVDC	–	–	2.5mm	6.7mm	8.6mm	6SMT	–
脉冲	HM2101NL	–40°C 至 105°C	1000V	4.3kVDC	–	●	5.7mm	7.6mm	9.3mm	6SMT	●
脉冲	HM2113ZNL	–40°C 至 125°C	1600V	4.3kVDC	●	●	3.5mm	9mm	15.5mm	6SMT	●
Würth	750340848	–40°C 至 105°C	250V	3kV _{RMS}	–	–	2.2mm	4.4mm	9.1mm	4SMT	–
Würth	750317011	–40°C 至 125°C	800V	3kV _{RMS}	●	–	7.62mm	9.14mm	12.95mm	6SMT	–
Halo	TGR04-6506V6LF	–40°C 至 125°C	300V	3kV _{RMS}	●	–	10mm	9.5mm	12.1mm	6SMT	–
Halo	TGR04-A6506NA6NL	–40°C 至 125°C	300V	3kV _{RMS}	●	–	9.4mm	8.9mm	12.1mm	6SMT	●
Halo	TDR04-A550ALLF	–40°C 至 105°C	1000V	5kV _{RMS}	●	–	6.4mm	8.9mm	16.6mm	6TH	●
TDK	ALT4532V-201-T001	–40°C 至 105°C	60V (估计)	~1kV	●	–	2.9mm	3.2mm	4.5mm	6SMT	●
Sumida	CEEH96BNP-LTC6804/11	–40°C 至 125°C	600V	2.5kV _{RMS}	–	–	7mm	9.2mm	12.0mm	4SMT	–
Sumida	CEP99NP-LTC6804	–40°C 至 125°C	600V	2.5kV _{RMS}	●	–	10mm	9.2mm	12.0mm	8SMT	–
Sumida	ESMIT-4180/A	–40°C 至 105°C	250V _{RMS}	3kV _{RMS}	–	–	3.5mm	5.2mm	9.1mm	4SMT	●
TDK	VGT10/9EE-204S2P4	–40°C 至 125°C	250V (估计)	2.8kV _{RMS}	●	–	10.6mm	10.4mm	12.7mm	8SMT	–

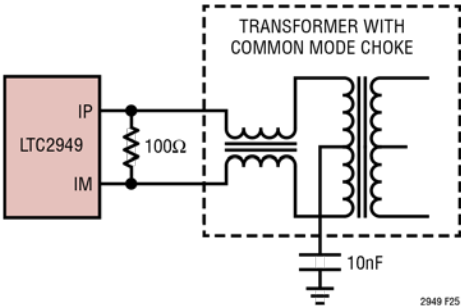


图 25. 针对 EMC 的推荐 isoSPI 电路

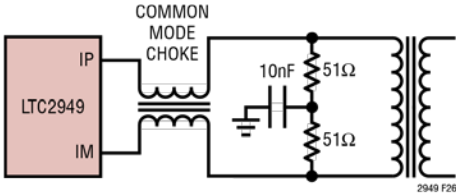


图 26. 当使用无中心抽头的变压器时，实现最佳 EMC 性能的推荐 isoSPI 电路

表 79. 推荐共模扼流圈

制造商	产品型号
TDK	ACT45B-220-2P
Murata	DLW43SH510XK2
Würth	744232102

应用信息

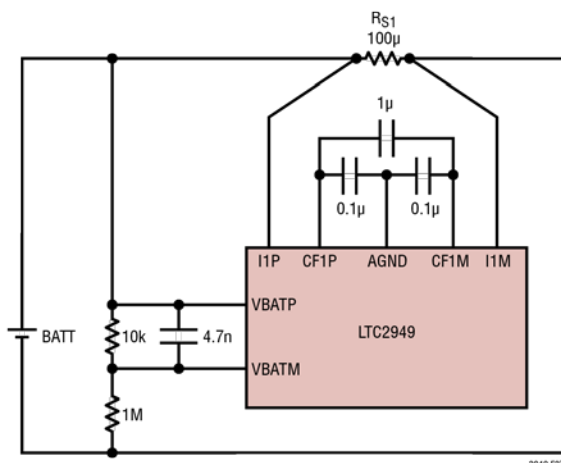


图 27. 输入滤波

电流和电压输入滤波

为确保 ADC 以最高电气性能转换电流、功率和电压, 应按照图 27 所示将输入滤波电路应用于引脚 CFP、CFM、VBATP 和 VBATM。这些元件可确保输入滤波得到优化, 从而降低噪声。电流和电压输入端的时间常数相等, 可将两条路径的延迟不同而引起的瞬态信号功率测量误差降至最低。

未使用输入引脚 V1-V12

如果不使用输入引脚 V1-V12, 可将其浮空或连接到 GND。不过, 建议不要将 V8-V12 连接到 GND, 因为当用作数字输出时, 这些引脚可能会被选择性驱动到高电平。

根据 LTC2949 的应用和配置, 将以下外部连接应用于未使用的输入可能是有利的, 有时甚至有必要。

- 将引脚 VREF 连接到 V1-V12 之一
 - 有关快速 AUX 测量对内部慢速 AUX 循环的影响, 参见“快速模式配置”部分的最后一段。执行快速 AUX 转换时, 寄存器 VREF 不会更新。
 - 使能电流源 (参见寄存器 FCURGPIOCTRL) 时, 内部 VREF 测量会改变。将 VREF 连接到一个 V_x 引脚时, 始终能够随时测量到正确的 VREF 引脚电压。

- VREF 可用于偏置电阻分压器, 以允许测量低于 GND 的电压。在这些情况下, 必须测量 V_x 和 VREF 之间的差分电压, 这只有在 VREF 连接到 V1-V12 引脚之一时才可能。
- 将分压电源电压 AVCC/DVCC (例如 GND/ V_x 之间有 10k, V_x 和 AVCC/DVCC 之间有 20k) 连接到 V1-V12 之一
 - 同 1.a。执行快速 AUX 转换时, 寄存器 VCC 不会更新。
 - 将 NTC 连接到 V1-V12 之一
 - 参见“温度测量”部分
 - 通过外部 4k 电阻将 VREF 引脚连接到 V1-V12 之一
 - 允许诊断内部电流源。
 - 将引脚 BYP1 和 BYP2 连接到 V1-V12 的未使用引脚。
 - 除了内置自测功能外, 还可以诊断内部产生的电源电压。

高欧姆电阻分压器

必须对 LTC2949 所测量的高电压进行分压, 并通过 VREF 进行偏置, 以将其移至 LTC2949 的电源电压轨 $\pm 100\text{mV}$ 和 ADC 的满量程差分输入电压范围内 (典型值为 $\pm 4.8\text{V}$)。通常要串联几个电阻, 以最大程度地减少各电阻的压降和功耗。图 1. LTC2949 工作状态图是典型原理图, 例如, 信号由 AUX ADC 通过 V1 测量。由 AUX 或功率 ADC (P1/P2 为电压) 通过 BAT 输入 (VBATP、VBATM) 执行的测量是类似的。

LTC2949 的所有电压输入都经过缓冲。测量期间的差分输入阻抗保证大于 50Meg。对于典型电阻分压器, 如图 1 所示, 该等效 >50Meg 电阻的影响可以忽略不计。误差可计算如下:

$$\text{标称增益系数: } g = R_{\text{low}} / (R_{\text{low}} + R_{\text{high}})$$

应用信息

有效低端电阻: $R_{\text{lowd}} = R_{\text{low}} \cdot R_d / (R_{\text{low}} + R_d)$, $R_d = 50e5$

有效增益系数: $g_d = R_{\text{lowd}} / (R_{\text{lowd}} + R_{\text{high}})$

值示例: $R_{\text{low}} = 30^3$, $R_{\text{high}} = 5 \cdot 1.3e6$

增益系数误差: $\text{err} = g_d / g - 1 = -0.06\%$

测量期间的差分输入阻抗是非线性的,它随着输入信号的减小而增加,并且还可能随温度变化。因此,在后期生产电路板测试过程中,只能对其进行部分校准。尽管如此,在满量程输入范围和整个工作温度范围内,它保证阻抗大于 50Meg,因此上面计算出的误差是最坏情况的误差。

高压通过下式根据 ADC 测量结果计算:

分压器连接到 GND: $V_{\text{HVa}} = V_{\text{ADC}} / g$

分压器连接到 VREF: $V_{\text{HVb}} = V_{\text{ADC}} / g + V_{\text{REF}}$

任何电阻分压器都会受到静态容差的影响,为了进行校准,可以施加一个已知输入信号,根据 ADC 测量结果计算 g_{real} 。将增益校正系数 $GC = g_{\text{nominal}} / g_{\text{real}}$ 写入相关增益校正寄存器之一 (BATGC、MUX1GC-MUX4GC), LTC2949 便可补偿此误差。可选外部 EEPROM 可用作这

些校准系数的非易失性存储器。

LTC2949 的增益校正寄存器不限于 1.0 左右的值,例如可以写入 10.0 的值,应用此系数就像应用任何其他系数一样。但是,它会受到结果寄存器大小的限制;对于任何 AUX-ADC 测量,例如 BAT、SLOT1/2 和快速 AUX 测量,结果寄存器的大小为 16 位 (包括符号)。这导致绝对最大寄存器值约为 12.3V ($375\mu\text{V} \cdot [2^{15} - 1]$)。为避免结果出现削波或溢出,建议使用增益校正系数来校正相对于标称系数的偏差 (例如,相对于标称电阻分压器比的偏差),如上例所示。然后,主机控制器软件保存硬编码的标称系数 (例如 6.53Meg/30k), LTC2949 根据电路板校准期间存储到外部 EEPROM 中的值来进行微调。

为 LTC2949 供电

LTC2949 需要 4.5V 至 14V 的单电源电压。工作时的最大电源电流为 20mA,睡眠时为 120 μA 。如果选择了 isoSPI,则在通信期间还需要最多 7mA 的电流。选择和设计合适的电源时,还必须考虑驱动连接到 GPO 引脚的电路所需的任何电流。

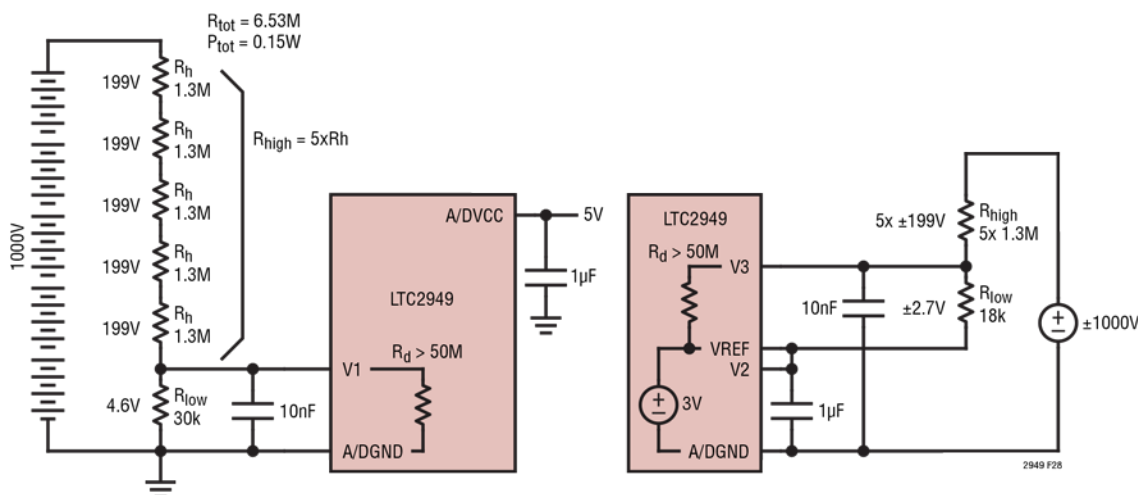


图 28. 左: 高欧姆电阻分压器, 用于通过 AUX ADC 输入 V1 测量 1000V 电池电压。右: 连接到 VREF 的电阻分压器允许测量 $\pm 1000\text{V}$ 电压。

应用信息

非隔离电源

LTC 提供非常丰富的非隔离式电源解决方案，包括 LDO、开关式电源和 μ Module 稳压器。LTC2949 主要针对高压电池应用，因此可以考虑采用 LT8315。LT8315 可以直接从高达 560V 的高压电池为 LTC2949 供电，如图 29 所示。

隔离电源

无法直接从电池为 LTC2949 供电的大多数高压电池应用需要隔离电源。图 30 显示了一个简单的 DC/DC 转换器，它使用凌力尔特的 LT3999 DC/DC 转换器和一个高隔离额定值的变压器。

LT830X 系列反激转换器配上合适的变压器也是一种可能的选择。

产品型号	V_{IN} 范围	功率开关	最大 P_{OUT}	封装
LT8300	6V 至 100V	0.26A/150V	2W	SOT23-5
LT8303	5.5V 至 100V	0.45A/150V	5W	SOT23-5
LT8301	2.7V 至 42V	1.2A/65V	6W	SOT23-5
LT8302	2.8V 至 42V	3.6A/65V	18W	SO-8E
LT8304/-1	3V 至 100V	2A/150V	24W	SO-8E

必须考虑反激转换器的最小负载要求，该要求通常比 LTC2949 的睡眠电流高得多。为防止输出电压升至 LTC2949 的工作额定值以上，应使用一个 12V 齐纳二极管（例如 NXP 的 BZX384-B12,115）。

变压器规格和设计可能是成功应用上述 DC/DC 转换器的最关键部分。建议器件的数据手册提供了有关关键参数的详细信息，例如饱和电流、电感、隔离电压额定值和爬电距离。

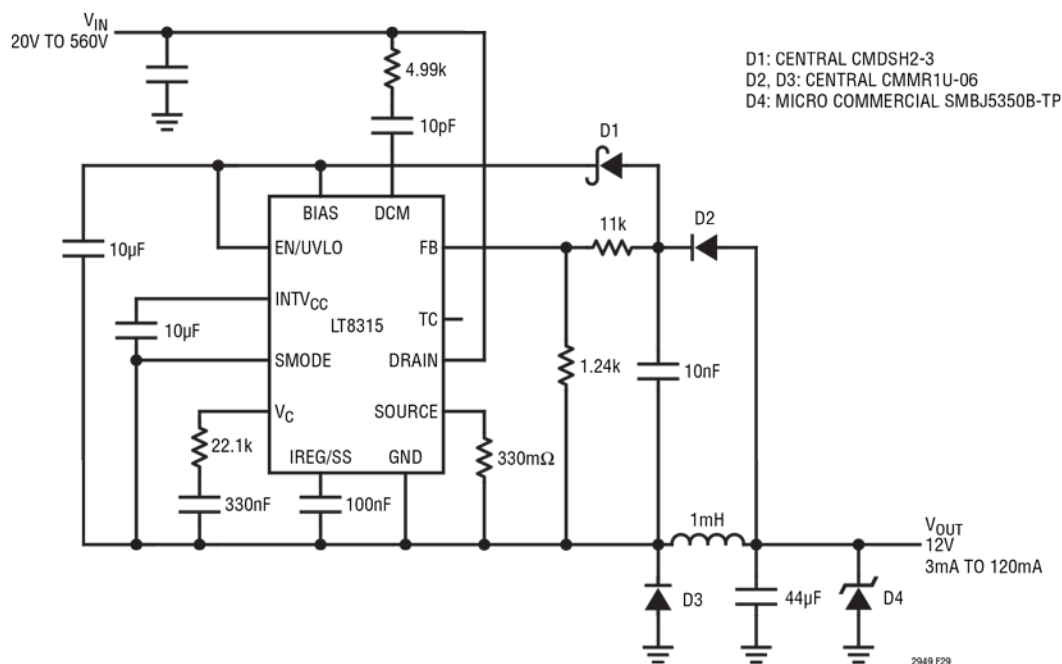


图 29. 非隔离电源产生

应用信息

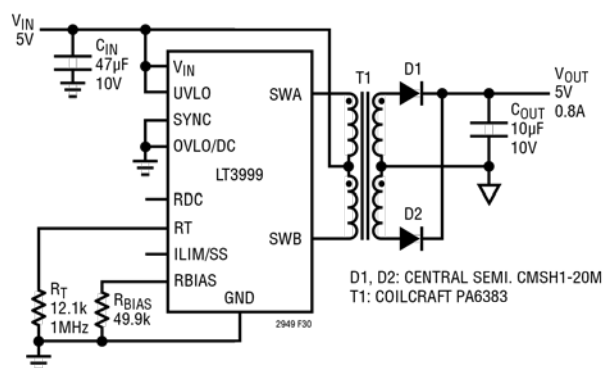


图 30. 采用推挽式变压器产生隔离电源

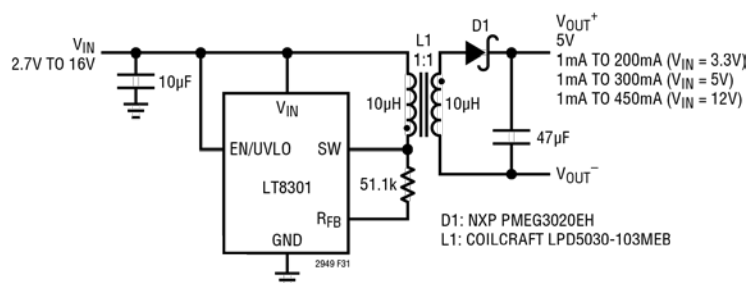


图 31. 采用反激转换器产生隔离电源

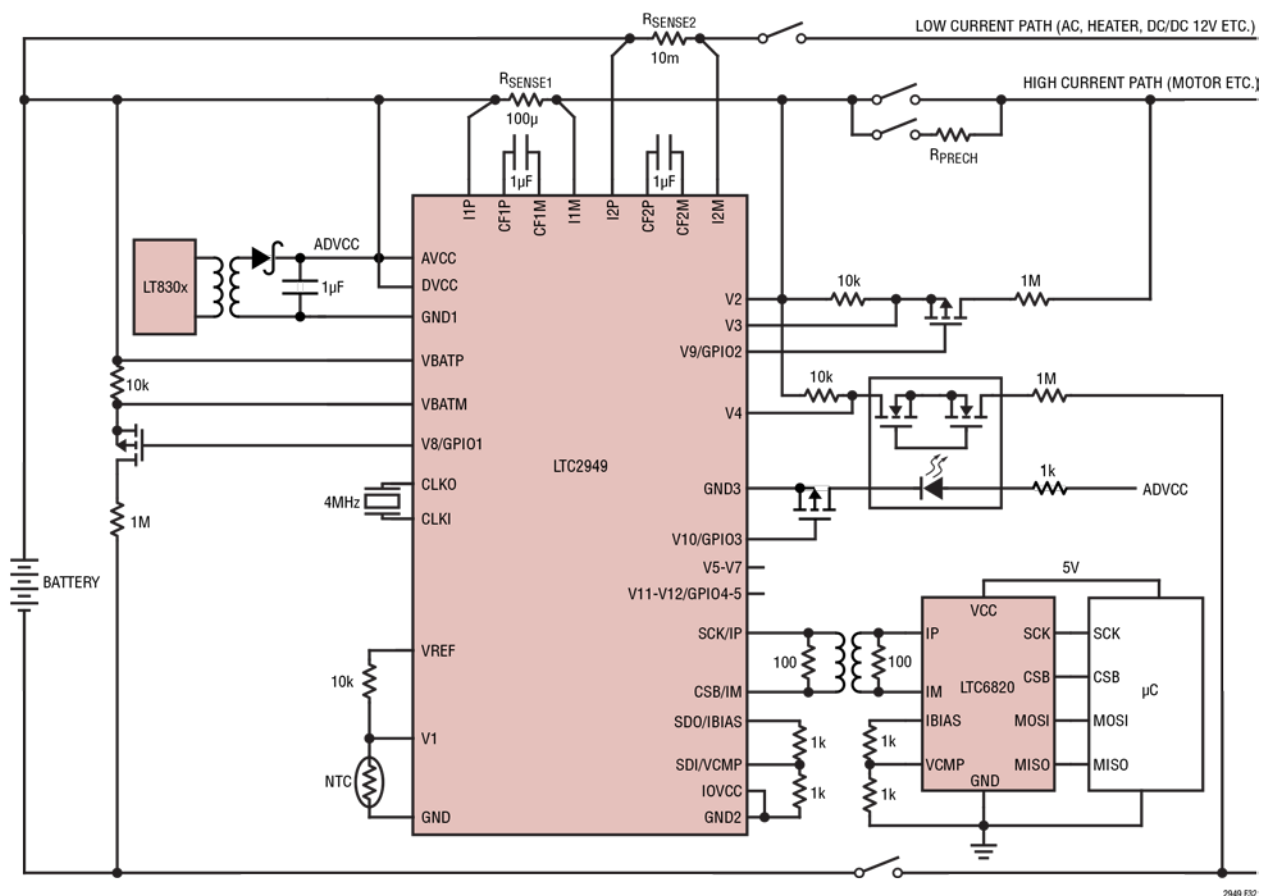


图 32. 使用隔离式电源和隔离式 NMOS 栅极驱动器以及 PhotoMos 继电器，进行电池监控（通过两个检测电阻进行高端电流检测）、电池电压测量、温度测量和预充电电压测量。

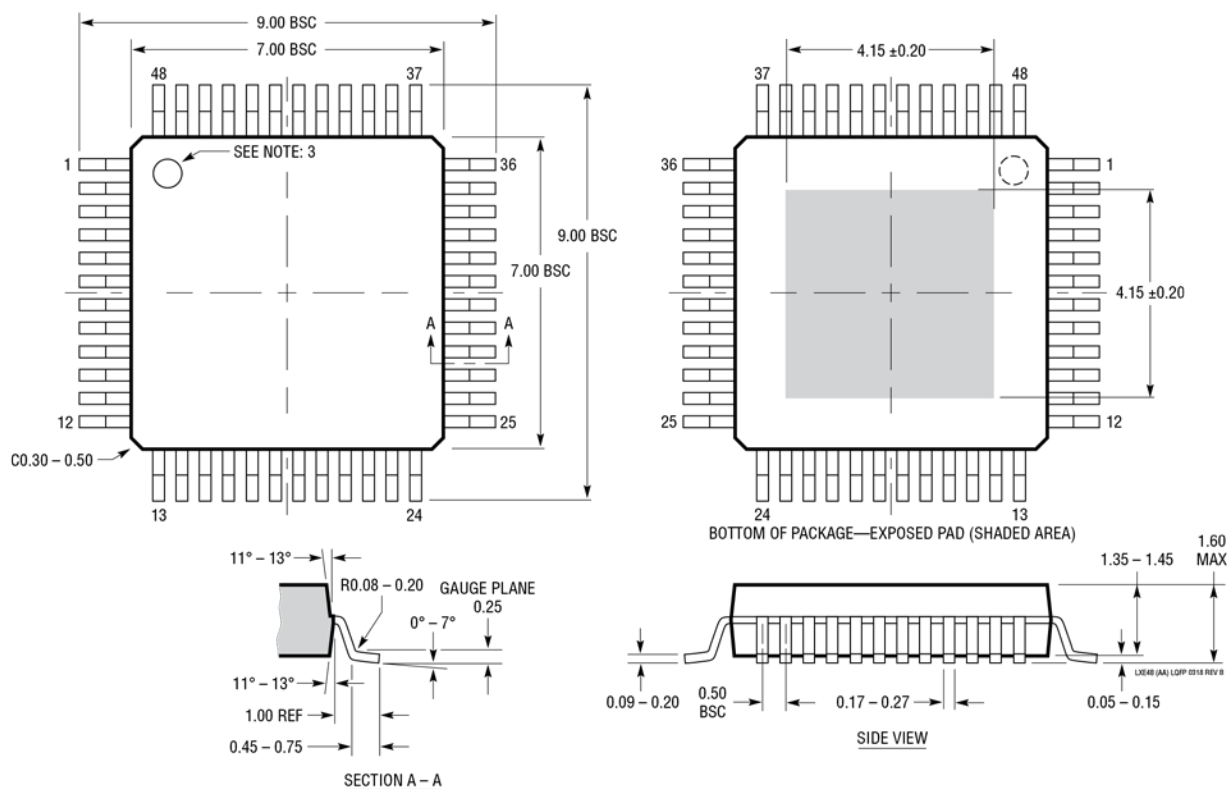
封装说明

LXE 封装

48 引脚塑料裸露焊盘 LQFP (7mm × 7mm)

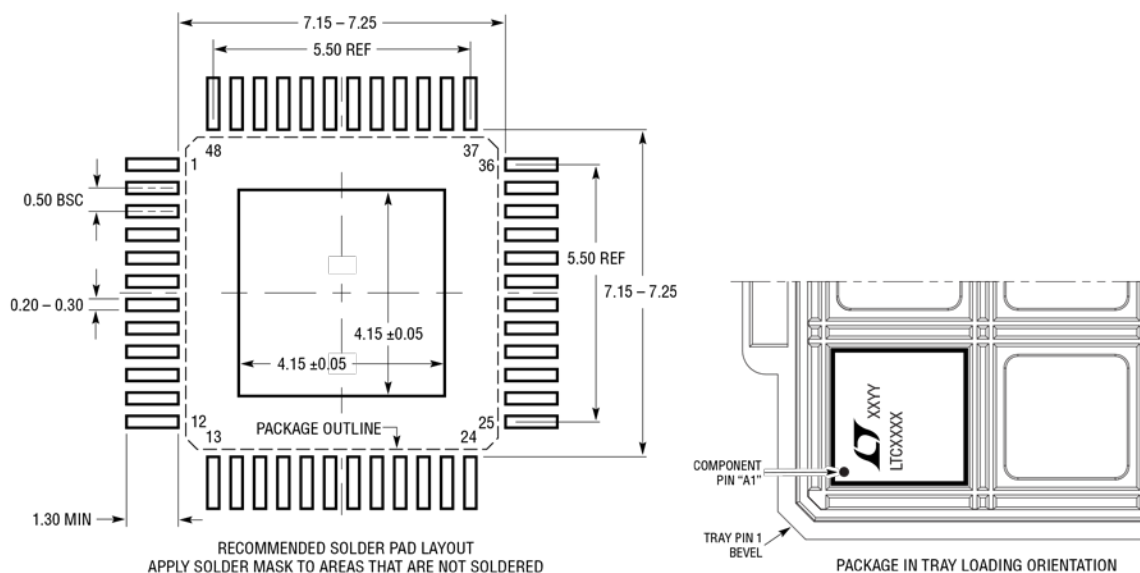
(参考 LTC DWG # 05-08-1927 Rev B)

裸露焊盘变化 AA



NOTE:

1. DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
2. DIMENSIONS OF PACKAGE DO NOT INCLUDE MOLD FLASH. MOLD FLASH SHALL NOT EXCEED 0.25mm (10 MILS) BETWEEN THE LEADS AND ON ANY SIDE OF EXPOSED PAD, MAX 0.50mm (20 MILS) AT CORNER OF EXPOSED PAD, IF PRESENT
3. PIN-1 IDENTIFIER IS A MOLDED INDENTATION
4. DRAWING IS NOT TO SCALE



产品型号	说明	备注
LTC6810-1/ LTC6810-2	第四代 6 节电池组监控和平衡 IC	测量最多 6 节串联电芯的电池电压。isoSPI 菊花链功能允许互连多个器件以同时测量许多电芯。isoSPI 总线工作频率最高可达 1MHz，并且可以双向操作以检测故障状况，例如开路或连接器断开。具有高达 150mA 的内部被动电池平衡能力。
LTC6811-1/ LTC6811-2	第四代 12 节电池组监控和平衡 IC	测量最多 12 节串联电芯的电池电压。菊花链功能允许连接多个器件，通过内置的 1MHz、2 线隔离通信 (isoSPI) 同时测量许多电芯。具有被动电池平衡能力。
LTC6820	isoSPI 隔离式通信接口	提供隔离接口，支持使用双绞线进行长达 100 米的 SPI 通信。LTC6804、LTC6806、LTC6811、LTC6812 和 LTC6813 的配套器件
LTC6812-1	第四代 15 节电池组监控和平衡 IC	测量最多 15 节串联电芯的电池电压。isoSPI 菊花链功能允许连接多个器件以同时测量许多电芯。isoSPI 总线工作频率最高可达 1MHz，并且可以双向操作以检测故障状况，例如开路或连接器断开。具有高达 200mA 的内部被动电池平衡能力。
LTC6813-1	第四代 18 节电池组监控和平衡 IC	测量最多 18 节串联电芯的电池电压。isoSPI 菊花链功能允许互连多个器件以同时测量许多电芯。isoSPI 总线工作频率最高可达 1MHz，并且可以双向操作以检测故障状况，例如开路或连接器断开。具有高达 200mA 的内部被动电池平衡能力。

