

## 用于电池化成和测试的 4 通道 AFE，数字控制器和 PWM

### 特性

- ▶ 电压和电流的精确测量
- ▶ 4 个 PWM 控制通道，最高 14 位（有效）分辨率
  - ▶ 可选同步和异步整流器操作
  - ▶ 可编程死区补偿
  - ▶ 可编程开关频率：62.5 kHz 至 500 kHz（步长为 2 的幂）
- ▶ 多相操作
  - ▶ 片间数字均流
  - ▶ 片间频率同步
- ▶ 数字控制环路
  - ▶ 可编程 PID 环路滤波器
  - ▶ 快速直流母线电压前馈
- ▶ 每个通道集成频谱分析
- ▶ SPI 端口控制和状态接口
  - ▶ 可编程状态变化主机中断
- ▶ 恒流和恒压工作模式
  - ▶ 15 位设定值分辨率
  - ▶ 输入和输出浪涌电流保护
- ▶ 外部 NTC 热敏电阻温度检测
  - ▶ 芯片内部温度测量
- ▶ 用户校准输入电压和电流
- ▶ 工作温度范围：0°C 至 85°C

### 应用

- ▶ 电池化成和测试
- ▶ 带循环功能的高效率电池测试系统
- ▶ 电池调理（充电和放电）系统

### 概述

ADBT1002 是一款灵活、功能丰富的数字控制器，适合大容量电池测试、化成制造和精密电池测试仪器仪表应用。ADBT1002 为最少的元件数量，最大的灵活性以及最少的设计时间作了优化。具体特性包括差分远程电压检测、电流检测、脉宽调制 (PWM) 生成、频率同步、过压保护 (OVP) 和均流。可编程保护功能包括过流保护 (OCP)、OVP 限制和外部过温保护 (OTP)。

参数可以通过串行外设接口 (SPI) 进行编程，从而提供对集成环路滤波器、PWM 信号时序和软启动时序的全面编程。通过 SPI 可访问许多监控和系统测试功能。内置校验和与可编程保护电路使器件的可靠性得以增强。

提供全面的图形用户界面 (GUI)，用于简单的系统和通道配置以及安全功能编程。ADBT1002 采用 100 引脚 LQFP\_EP 封装。

### 典型应用图

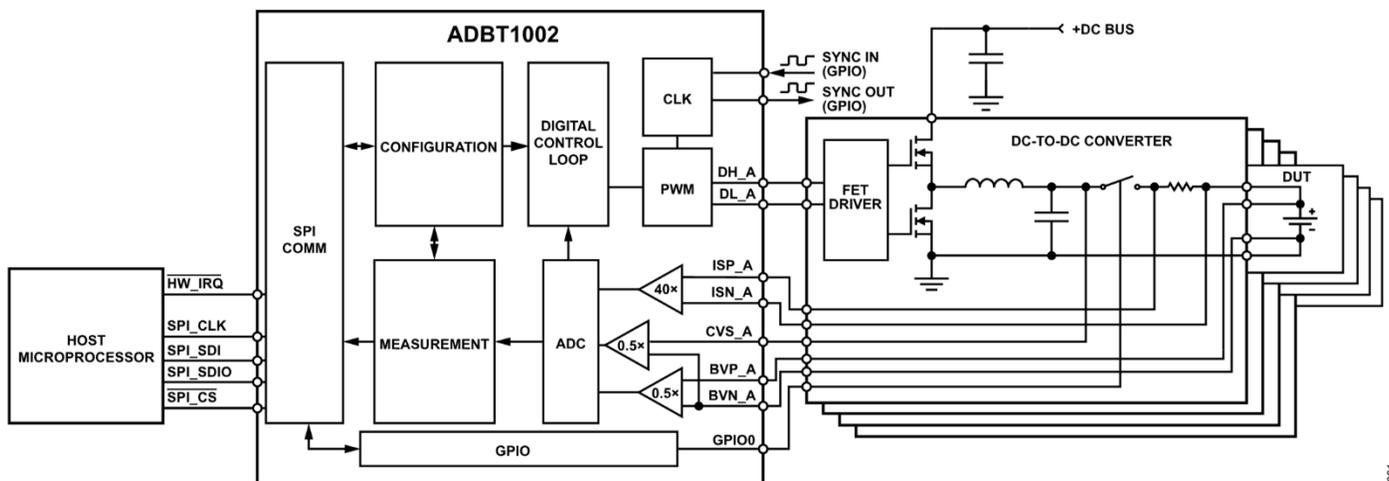


图 1.

### 修订版 0

文档反馈  
技术支持

ADI 公司确信其所提供的信息是准确可靠的。但是，对于其使用以及任何可能因其使用而导致的对第三方专利或其他权利的侵犯，ADI 公司概不负责，规格如有变更，恕不另行通知。不含有对 ADI 公司专利或者专利权的暗示性或其他形式的许可。所有商标和注册商标均属各自所有人所有。

## 目录

特性.....	1	序列器.....	16
应用.....	1	指令定义.....	16
概述.....	1	序列化模式.....	16
典型应用图.....	1	充电和放电指令模式.....	18
技术规格.....	3	充电和放电指令限值.....	18
模拟前端和控制器规格.....	3	摆率.....	19
绝对最大额定值.....	8	并联操作.....	19
热阻.....	8	标志.....	19
焊接.....	8	全局寄存器设置.....	20
静电放电(ESD)额定值.....	8	通道静态设置.....	20
ESD 警告.....	8	指令集架构.....	20
引脚配置和功能描述.....	9	序列器操作示例.....	24
工作原理.....	13	存储器映射寄存器.....	25
概述.....	13	主机 SPI 接口详解.....	37
模拟前端.....	14	SPI 概述.....	37
数字控制器.....	14	通信协议.....	37
主机 SPI.....	14	应用信息.....	39
主机中断请求.....	14	校准.....	39
时钟.....	14	诊断.....	39
GPIOx 引脚.....	14	操作应用案例.....	39
辅助 ADC.....	14	外形尺寸.....	44
支持库仑效率测量.....	14	订购指南.....	44
支持预充电操作.....	15		

技术规格

除非另有说明, AHVDD = 15 V, AHVSS = -15 V, VDDIO = AVDD = DVDD = 3.3 V, T<sub>A</sub> = 0°C 至 85°C。

模拟前端和控制器规格

表 1.

参数	测试条件/注释	最小值	典型值	最大值	单位
<b>电流检测通道</b>					
增益			40		V/V
增益误差	V <sub>OUT</sub> = ±2 V			0.2	%
增益漂移				10	ppm/°C
系统输入失调电压		-10		+10	LSB
系统输入失调电压漂移	RTI			0.235	LSB/°C
输入偏置电流	V <sub>ICM</sub> = V <sub>REF</sub> /2		30	500	nA
输入差分电压范围		-62.5		+62.5	mV
输入共模电压范围		AHVSS + 5		AHVDD - 5	V
差分输入阻抗	通过设计		24		kΩ
共模输入阻抗	通过设计		246		kΩ
输入电阻	两个输入引脚		492		kΩ
共模抑制比(CMRR)		100	110		dB
CMRR 漂移				0.05	ppm/°C
小信号-3 dB 带宽 (增益 = 40) <sup>1</sup>	T <sub>A</sub> = 25°C, V <sub>OUT</sub> = 100 mV p-p		600		kHz
电源电压抑制比(PSRR)	电源电压(V <sub>s</sub> ) = ±5 V 至 ±18 V	120			dB
摆率	V <sub>OUT</sub> = ±2 V		0.6		V/μs
读出数据信噪比(SNR)	MAF <sup>2</sup> = 16, FIR <sup>3</sup> 开启				dB
更新速率 <sup>4</sup>					
31.25 kHz (OSR = 32)			66		
15.625 kHz (OSR = 64)			69		dB
7.8125 kHz (OSR = 128)			72		dB
3.90625 kHz (OSR = 256)			75		dB
满量程输入范围		-60		+60	mV
<b>电压检测和电容电压检测通道</b>					
增益			0.5		V/V
增益误差	V <sub>OUT</sub> = ±2 V			0.2	%
增益漂移				10	ppm/°C
输入失调电压		-10		+10	LSB
失调电压漂移				0.235	LSB/°C
输入共模电压范围		AHVSS + 5		AHVDD - 5	V
差分输入阻抗	通过设计	0.85	1		MΩ
共模输入阻抗	通过设计		375		kΩ
输入电阻	同相引脚		750		kΩ
	反相引脚		375		kΩ
小信号-3 dB 带宽(G = 0.5) <sup>5</sup>	T <sub>A</sub> = 25°C, V <sub>OUT</sub> = 100 mV p-p		200		kHz
CMRR					
BV <sub>x_x</sub>		80	90		dB
CVS <sub>x_x</sub>		78	90		dB

## 技术规格

表 1.

参数	测试条件/注释	最小值	典型值	最大值	单位
CMRR 漂移					
BV <sub>x_x</sub>				0.235	ppm/°C
CVS <sub>x_x</sub>				3	ppm/°C
PSRR		100	120		dB
摆率			0.15		V/μs
功耗			30		mW
读出数据 SNR	MAF = 16, FIR 开启				
更新速率					
31.25 kHz (OSR = 32)			79		dB
15.625 kHz (OSR = 64)			80		dB
7.8125 kHz (OSR = 128)			81		dB
3.90625 kHz (OSR = 256)			81		dB
满量程输入范围		-4.8		+4.8	V
电池电流和电压 ADC	V <sub>REF</sub> = 2.5 V				
SNR	1 kHz 正弦波, 80%满量程		70		dB
信纳比(SINAD)			70		dB
分辨率			12		位
差分非线性(DNL) <sup>6</sup>		-1		+1	LSB
积分非线性(INL)	内部电压基准	-3		+3	LSB
采样速率			1		MHz/通道
基准电压 (内部)					
电压范围		2.495	2.500	2.505	V
温度系数			7	11	ppm/°C
均方根噪声	REFCAP = 1 μF		7		μV rms
脉宽调制(PWM)	外部 CLK = 16 MHz				
分辨率			14		位
开关频率	f <sub>sw</sub>	62.5		500	kHz
可编程死区时间	最小值		0		ns
	最大值		992.2		ns
死区时间分辨率 <sup>7</sup>			7.8125		ns
相对于外部 SYNC 的延迟 (可编程)	最小值 <sup>8</sup>		0		μs
	最大值, f <sub>sw</sub> = 62.5 kHz <sup>9</sup>		16		μs
延迟分辨率			7.8125		ns
有效相移分辨率					
f <sub>sw</sub> = 62.5 kHz			0.176		度
f <sub>sw</sub> = 125 kHz			0.352		度
f <sub>sw</sub> = 250 kHz			0.703		度
f <sub>sw</sub> = 500 kHz			1.406		度
通道交流性能					
环路带宽 (交越频率)			10	50	kHz
恒流至恒压转换时间	f <sub>sw</sub> = 500 kHz		2		μs
	f <sub>sw</sub> = 62.5 kHz		16		μs
通道间隔离			100		dB
电流和电压读出速率 <sup>10</sup>	最小 OSR <sup>11</sup>		31,250		样本数/秒
	最大 OSR		15.26		样本数/秒
输出数据分辨率			16		位

## 技术规格

表 1.

参数	测试条件/注释	最小值	典型值	最大值	单位
辅助 ADC					
分辨率 (有效)			12		位
采样速率	直流母线监视禁用		100,000		样本数/秒
	直流母线监视使能		50,000		样本数/秒
输入电压范围					
基准电压		0.1		2.4	V
单位增益失调		-1		+1	LSB
单位增益失调漂移				0.02	LSB/°C
电流激励 (4 位可编程)	最小值		0		μA
	最大值		750		μA
分辨率			50		μA
逻辑输入 (SPI_CS、SPI_SCK、SPI_SDIO、SPI_SDO、FAULT_x、GPIOx、HW_IRQ)	迟滞 = 600 mV				
输入高电压(V <sub>IH</sub> )		VDDIO × 0.8			V
输入低电压(V <sub>IL</sub> )				VDDIO × 0.2	V
输入高电流(I <sub>IH</sub> )	V <sub>IN</sub> = VDDIO	-1			μA
输入低电流(I <sub>IL</sub> )	V <sub>IN</sub> = DVSS			1	μA
输入下拉电流 (仅 HW_IRQ)			15	115	μA
输入电容			4		pF
逻辑开漏输出 (SPI_SDIO、SPI_SDO、HW_IRQ)	1 mA 负载				
输出低电压(V <sub>OL</sub> )				0.4	V
输出高电平漏电流(I <sub>OH</sub> )			±0.1	±1.0	μA
逻辑输出(GPIO)	1 mA 负载				
输出低电压(V <sub>OL</sub> )				0.4	V
输出高电平漏电流(I <sub>OH</sub> )			±0.1	±1.0	μA
输出高电压(V <sub>OH</sub> )	VDDIO = 3.0 V		3		V
	VDDIO = 3.3 V		3.3		V
	VDDIO = 3.6 V		3.6		V
摆率 <sup>12</sup>	默认设置				
下降沿			5.2		ns
上升沿			4		ns
内部振荡器频率			16		MHz
外部振荡器频率			16		MHz
电源					
AHVDD		5.3		30.7	V
静态电流	工作和待机		3	4.2	mA
AHVSS		-26		-5.3	V
	工作和待机		4	6	mA
高压电源范围 (AHVDD 至 AHVSS)		10.6		36	V
AVDD		3	3.3	3.6	V
	工作		40	47	mA
	待机		3.6	4.5	mA
AVSS			0		V
VDDIO			3.3		V
	工作和待机		2	6	μA
VDDDRV			3.3		V
	工作		4.6	4.8	mA
	待机		26	30	μA

技术规格

表 1.

参数	测试条件/注释	最小值	典型值	最大值	单位
DVDD	工作		3.3		V
	待机		21	22	mA
			4.8	5.2	mA
功耗					
AHVDD	AHVDD = 12 V, 工作和待机		50.4		mW
AHVSS	AHVSS = -12 V, 工作和待机		63.6		mW
VDDIO	工作和待机		19.8		μW
AVDD	工作		155		mW
	待机		14.9		mW
DVDD	工作		72.6		mW
	待机		17.2		mW
VDDDRV	工作		15.8		mW
	待机		99		μW
PWM 驱动逻辑					
DLx 和 DHx 驱动电压 <sup>13</sup>	PWM_DRV = 0				
V <sub>OH</sub>	0 mA 负载	3	3.29	3.3	V
	15 mA 负载	2.6	2.8	2.9	V
V <sub>OL</sub>	0 mA 负载		17	25	mV
	15 mA 负载	0.6	0.8	1	V
DLx 和 DHx 灌电阻	PWM_DRV = 0	10	23	40	Ω
	PWM_DRV = 15	1.8	2.6	5	Ω
DLx 和 DHx 源电阻	PWM_DRV = 0	30	41	55	Ω
	PWM_DRV = 15	2.2	3.2	5.1	Ω
内部下拉电阻			1		MΩ
驱动容性负载		10		100	pF

- <sup>1</sup> 带宽仅为模拟。读出数据带宽受选定的过采样率(OSR)限制。
- <sup>2</sup> 移动平均滤波器(MAF)是 MAF\_CFG 寄存器中的一个 3 比特位域 (每个通道一个)。默认值为 8。
- <sup>3</sup> 未旁路读出滤波器中的有限脉冲响应(FIR)滤波器 (默认)。
- <sup>4</sup> 读出滤波器更新速率在 DSP\_READOUT\_FILT\_CFG 寄存器中的 5 比特位域中选择。
- <sup>5</sup> 带宽仅为模拟。读出数据带宽受选定的 OSR 限制。
- <sup>6</sup> 通过设计保证。
- <sup>7</sup> 仅限同步模式。
- <sup>8</sup> PMU\_CHANNEL\_CFG1 寄存器中的 CHANNEL\_A\_PHASE = 0x000。
- <sup>9</sup> PMU\_CHANNEL\_CFG1 寄存器中的 11 位 CHANNEL\_A\_PHASE = 0x07FF, 其他通道相同。
- <sup>10</sup> 读出更新速率在 DSP\_READOUT\_FILT\_CFG 寄存器中的 5 比特位域中设置。每个通道一个。
- <sup>11</sup> 最小 OSR 基于所有四个通道的电流和电压数据的最大读出速率。
- <sup>12</sup> 输出引脚 (SPI\_SDIO、SPI\_SDO、GPIOx、EXTCLKIO 和 HW\_IRQ) 具有 xxx\_PAD\_CFG 寄存器, 其中有一个 3 比特 xxx\_SLEW 位域。默认值为 0x7, 这是最快的摆率。
- <sup>13</sup> PWM\_DRV 是 PWM\_CFG1 通道寄存器中的 4 比特位域。

技术规格

表 2. SPI 总线时序

参数	符号	最小值	典型值	最大值	单位
时序要求					
$\overline{\text{SPI\_CS}}$ 建立至 SPI_CLK 边沿	$t_s$		4		ns
SPI_CLK 低电平脉冲最小宽度	$t_{LO}$		31.25		ns
SPI_CLK 高电平脉冲最小宽度	$t_{HI}$		31.25		ns
SPI_CLK 最小周期	$t_{CLK}$		62.5		ns
SPI_CLK 边沿之前数据输入建立时间	$t_{DS}$		4		ns
SPI_CLK 边沿之后数据输入保持时间	$t_{DH}$		4		ns
SCLK 保持至 $\overline{\text{SPI\_CS}}$ 无效	$t_H$		4		ns
开关特性					
$\overline{\text{SPI\_CS}}$ 边沿之后数据输出有效时间	$t_{ACCESS}$		4		ns
$\overline{\text{SPI\_CS}}$ 至 SPI_SDIO/SPI_SDO 高阻态	$t_Z$		4		ns

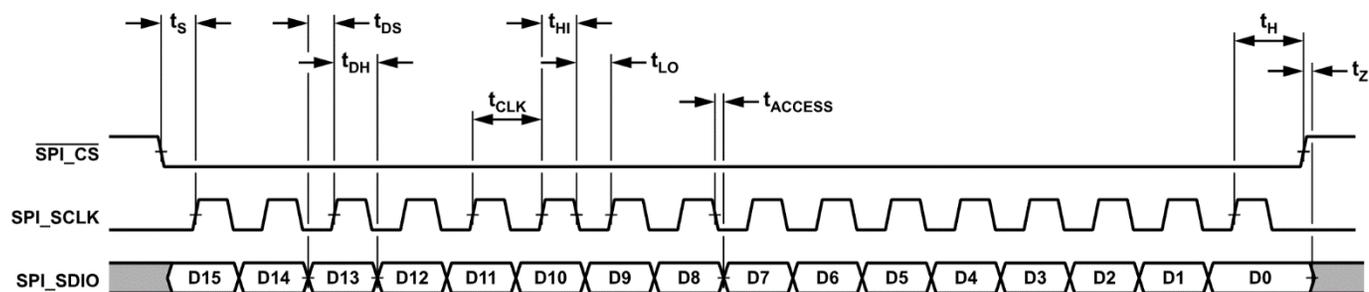


图 2. 三线 SPI 总线时序图

202

绝对最大额定值

表 3.

参数	额定值
模拟高压电源 (连续), AHVDD – AHVSS	50 V
AHVDD – AVSS	50 V
AVSS – AHVSS	30 V
输入引脚电压 (ISP_x、ISN_x、BVP_x、BVN_x 和 CVS_x)	-0.3 V + AHVSS 至 AHVDD + 0.3 V
数字引脚 (相对于 DVSS)	-0.3 V 至 DVDD + 0.3 V
DVSS 和 AVSS	-0.3 V 至 +0.3 V
DVDD、AVDD 和 VDDDRV	-0.3 V 至 DVDD + 0.3 V
SPI_SCK、SPI_CS、SPI_SDIO 和 SPI_SDO	-0.3 V 至 DVDD + 0.3 V
REFIO	-0.3 V 至 DVDD + 0.3 V
温度	
工作范围	0°C 至 +85°C
存储范围	-65°C 至 +150°C
结温	125°C
回流焊峰值	
RoHS 体系 (20 s 至 40 s)	260°C

注意，等于或超出上述绝对最大额定值可能会导致产品永久性损坏。这只是额定最值，不表示在这些条件下或者在任何其它超出本技术规范操作章节中所示规格的条件下，器件能够正常工作。长期在超出最大额定值条件下工作会影响产品的可靠性。

热阻

热性能与印刷电路板(PCB)设计和工作环境直接相关。必须慎重对待 PCB 散热设计。

$\theta_{JA}$  是自然对流下的结至环境热阻，在 1 立方英尺的密封外罩中测量。 $\theta_{JC}$  是结至外壳热阻。

表 4. 热阻

封装类型	$\theta_{JA}$	$\theta_{JC}$	单位
SW-100-2	27.8	3.9	°C/W

焊接

当布局 ADBT1002 的 PCB 以及将器件焊接到 PCB 上时，请务必遵循正确的规范。有关这些规范的详细信息，请参阅[工程师对话 EE-352](#)。

静电放电(ESD)额定值

以下 ESD 信息仅用于处理 ESD 保护区域内的 ESD 敏感器件。

人体模型(HBM)，根据 ANSI/ESDA/JEDEC JS-001。

充电器件模型(CDM)，根据 ANSI/ESDA/JEDEC JS-002。

ADBT1002 的 ESD 额定值

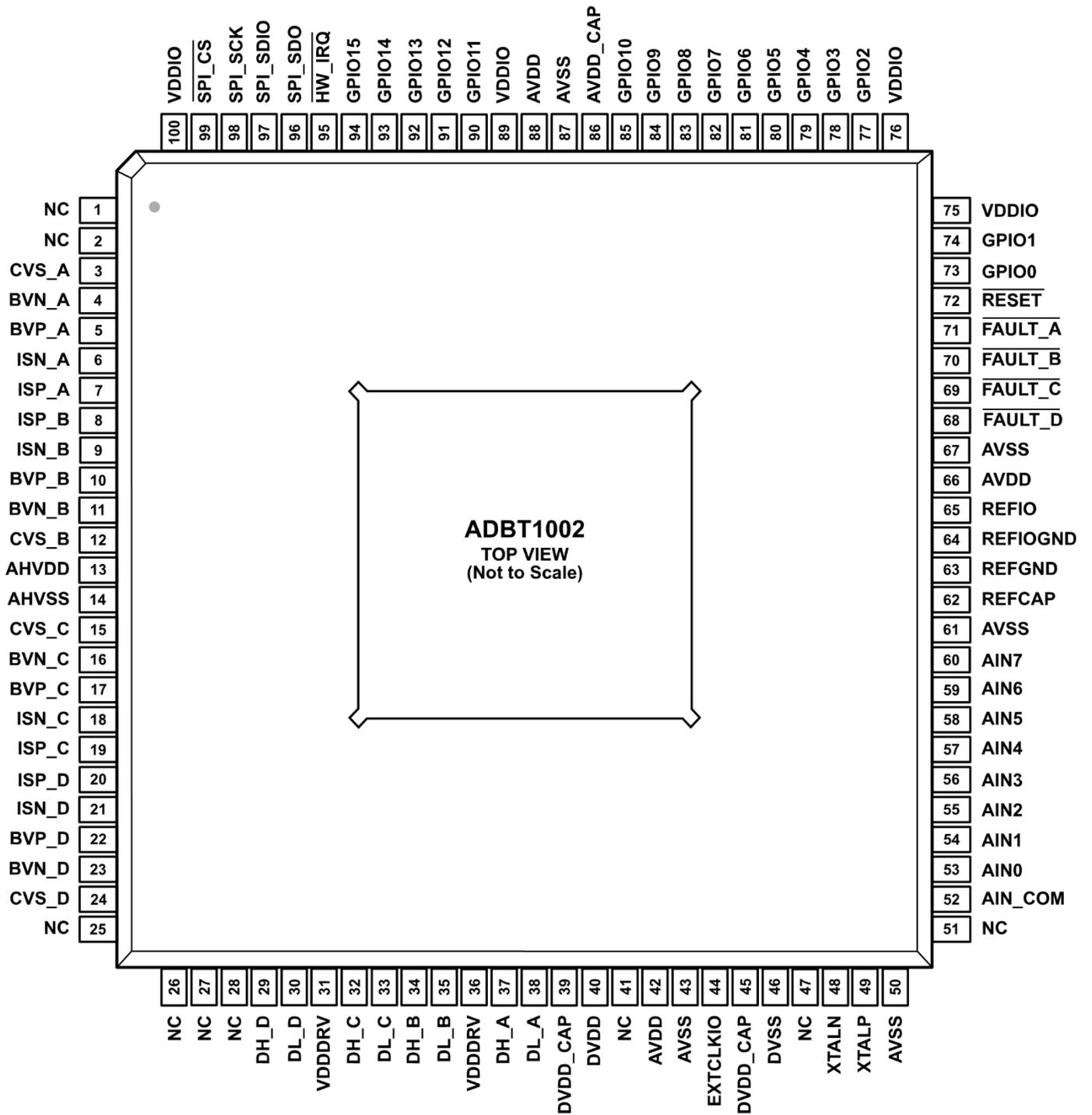
表 5. ADBT1002, 100 引脚 LQFP\_EP

ESD 模型	耐受阈值	级别
HBM	1.5 kV	1C
CDM	750 V	1B

ESD 警告

	<p><b>ESD (静电放电) 敏感器件。</b> 带电器件和电路板可能会在没有察觉的情况下放电。尽管本产品具有专利或专有保护电路，但在遇到高能量 ESD 时，器件可能会损坏。因此，应当采取适当的 ESD 防范措施，以避免器件性能下降或功能丧失。</p>
--	--

引脚配置和功能描述



NOTES

1. NC MEANS NO CONNECT.
2. EXPOSED PAD. DVSS FOR DVDD, VDDIO, AND VDDDRV.

图 3. 引脚配置

## 引脚配置和功能描述

表 6. 引脚功能描述

引脚编号	引脚名称	说明
1	NC	不连接。
2	NC	不连接。
3	CVS_A	通道 A 电容电压检测输入。
4	BVN_A	通道 A 电压检测负输入。
5	BVP_A	通道 A 电压检测正输入。
6	ISN_A	通道 A 电流检测负输入。
7	ISP_A	通道 A 电流检测正输入。
8	ISP_B	通道 B 电流检测正输入。
9	ISN_B	通道 B 电流检测负输入。
10	BVP_B	通道 B 电压检测正输入。
11	BVN_B	通道 B 电压检测负输入。
12	CVS_B	通道 B 电容电压检测输入。
13	AHVDD	AFE 正电源。
14	AHVSS	AFE 负电源。施加 AHVSS 之前，确保已施加 AVDD。
15	CVS_C	通道 C 电容电压检测输入。
16	BVN_C	通道 C 电压检测负输入。
17	BVP_C	通道 C 电压检测正输入。
18	ISN_C	通道 C 电流检测负输入。
19	ISP_C	通道 C 电流检测正输入。
20	ISP_D	通道 D 电流检测正输入。
21	ISN_D	通道 D 电流检测负输入。
22	BVP_D	通道 D 电压检测正输入。
23	BVN_D	通道 D 电压检测负输入。
24	CVS_D	通道 D 电容电压检测输入。
25	NC	不连接。
26	NC	不连接。
27	NC	不连接。
28	NC	不连接。
29	DH_D	PWM 驱动高，通道 D。
30	DL_D	PWM 驱动低，通道 D。
31	VDDDRV	PWM 驱动器电源。
32	DH_C	PWM 驱动高，通道 C。
33	DL_C	PWM 驱动低，通道 C。
34	DH_B	PWM 驱动高，通道 B。
35	DL_B	PWM 驱动低，通道 B。
36	VDDDRV	PWM 驱动器电源。
37	DH_A	PWM 驱动高，通道 A。
38	DL_A	PWM 驱动低，通道 A。
39	DVDD_CAP	数字电源电容。应将一个 10 $\mu$ F 解耦电容连接在 DVDD_CAP 与 DVSS 之间。
40	DVDD	正电源，典型值 3.3 V。
41	NC	不连接。
42	AVDD	模拟电源，典型值 3.3 V。施加 AHVSS 之前，确保已施加 AVDD。
43	AVSS	模拟电源返回。
44	EXTCLKIO	外部振荡器输入和时钟输出。
45	DVDD_CAP	数字电源电容。应将一个 10 $\mu$ F 解耦电容连接在 DVDD_CAP 与 DVSS 之间。
46	DVSS	数字电源返回。
47	NC	不连接。
48	XTALP	外部晶振高边激励引脚。
49	XTALN	外部晶振低边激励引脚。

## 引脚配置和功能描述

表 6. 引脚功能描述

引脚编号	引脚名称	说明
50	AVSS	模拟电源返回。
51	NC	不连接。
52	AIN_COM	模拟输入, ADC 公共端。
53	AIN0	模拟输入, ADC 通道 0。
54	AIN1	模拟输入, ADC 通道 1。
55	AIN2	模拟输入, ADC 通道 2。
56	AIN3	模拟输入, ADC 通道 3。
57	AIN4	模拟输入, ADC 通道 4。
58	AIN5	模拟输入, ADC 通道 5。
59	AIN6	模拟输入, ADC 通道 6。
60	AIN7	模拟输入, ADC 通道 7。
61	AVSS	模拟电源返回。
62	REFCAP	内部基准电容。
63	REFGND	内部基准地。
64	REFIOGND	基准输入和输出接地。
65	REFIO	基准输入和输出。应将一个 10 $\mu$ F 电容连接在 REFIO 与 AVSS 之间。
66	AVDD	模拟电源。施加 AHVSS 之前, 确保已施加 AVDD。
67	AVSS	模拟电源返回。
68	FAULT_D	故障检测输入, PWM 通道 D 关断。低电平有效。
69	FAULT_C	故障检测输入, PWM 通道 C 关断。低电平有效。
70	FAULT_B	故障检测输入, PWM 通道 B 关断。低电平有效。
71	FAULT_A	故障检测输入, PWM 通道 A 关断。低电平有效。
72	复位	芯片复位。低电平有效。
73	GPIO0	通用数字输入和输出 0。
74	GPIO1	通用数字输入和输出 1。
75	VDDIO	输入和输出电源。
76	VDDIO	输入和输出电源。
77	GPIO2	通用数字输入和输出 2。
78	GPIO3	通用数字输入和输出 3。
79	GPIO4	通用数字输入和输出 4。
80	GPIO5	通用数字输入和输出 5。
81	GPIO6	通用数字输入和输出 6。
82	GPIO7	通用数字输入和输出 7。
83	GPIO8	通用数字输入和输出 8。
84	GPIO9	通用数字输入和输出 9。
85	GPIO10	通用数字输入和输出 10。
86	AVDD_CAP	模拟电源返回电容。应将一个 10 $\mu$ F 解耦电容连接在 AVDD_CAP 与 AVSS 之间。
87	AVSS	模拟电源返回。
88	AVDD	模拟电源。施加 AHVSS 之前, 确保已施加 AVDD。
89	VDDIO	数字输入和输出电源。
90	GPIO11	通用数字输入和输出 11。
91	GPIO12	通用数字输入和输出 12。
92	GPIO13	通用数字输入和输出 13。
93	GPIO14	通用数字输入和输出 14。
94	GPIO15	通用数字输入和输出 15。
95	HW_IRQ	主机中断请求。低电平有效。
96	SPI_SDO	主控 SPI 主机输入、从机输出(MISO)。
97	SPI_SDIO	主控 SPI 主机输出、从机输入(MOSI)或双向。
98	SPI_SCK	主机 SPI 时钟。

## 引脚配置和功能描述

表 6. 引脚功能描述

引脚编号	引脚名称	说明
99	SPI_CS	主机 SPI 选择。低电平有效。
100	VDDIO	输入和输出电源。
EPAD	DVSS	裸露焊盘。DVDD、VDDIO 和 VDDDRV 的 DVSS。

工作原理

概述

ADBT1002 是一款高集成度数字控制器，提供四个充电和放电控制通道，聚焦于电池化成和测试应用。

每个通道由精密模拟前端 (AFE)，其使用高精度 ADC 测量电池电流和电压、用户可编程数字补偿器和精密 PWM 组成。此外还有 8 个辅助 ADC 通道和 16 个 GPIOx 引脚。

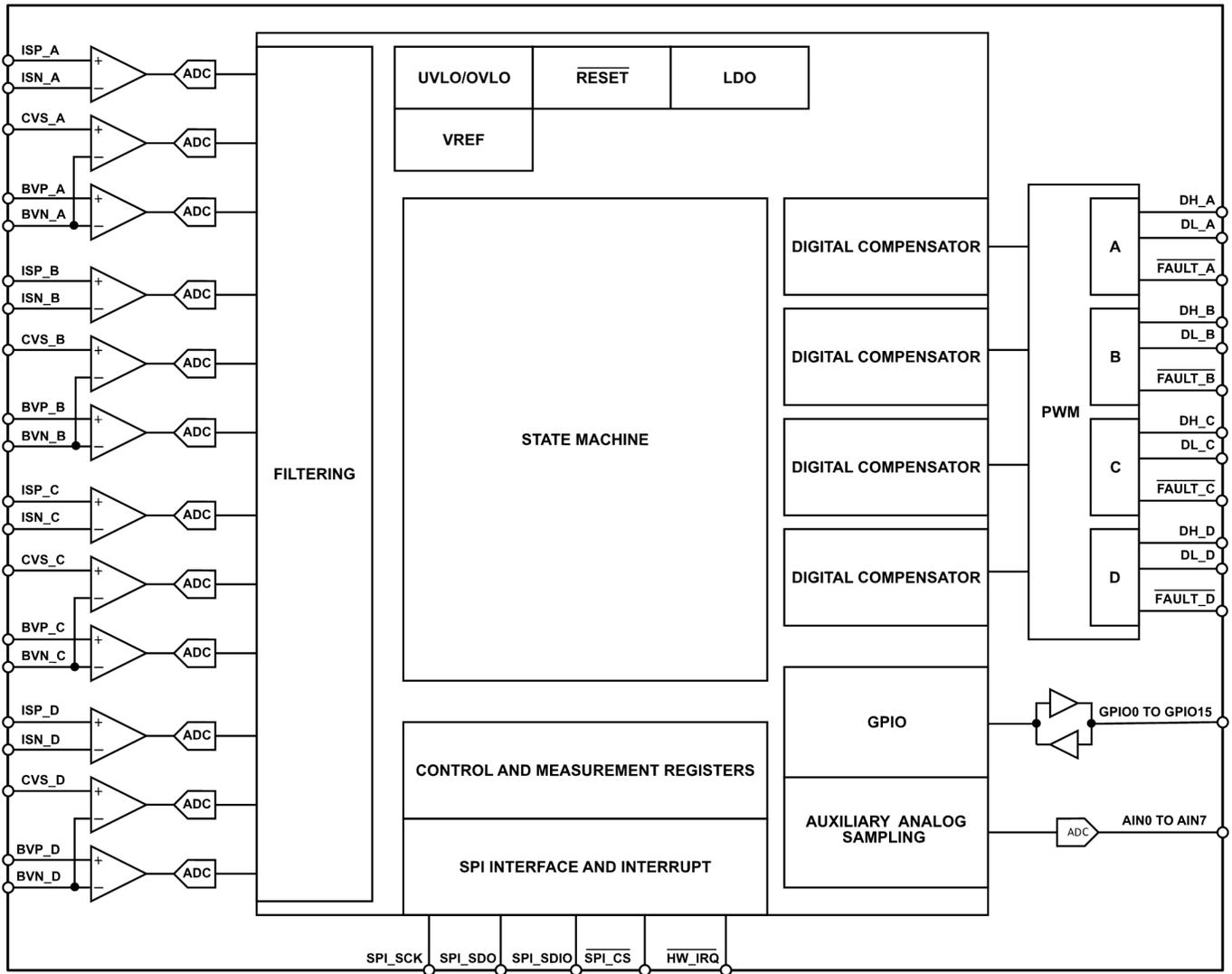


图 4. 功能框图

## 工作原理

### 模拟前端

每个通道具有一个固定增益为 40 的精密电流检测差分放大器和一个固定增益为 0.5 的精密电压检测差分放大器。一对同步采样 ADC 将经调理的电流和电压信号转换为 12 位数字表示，再将信号传输至数字控制器。

### 数字控制器

基于有限状态机(FSM)的比例积分微分(PID)控制器提供数字环路控制。控制器具有用户可编程的滤波器系数，用于补偿控制环路。电流和电压设定值基于寄存器，并由用户通过主机 SPI 配置。单独的电流和电压控制环路支持恒流和恒压工作模式。控制器的输出用于控制 14 位数字 PWM 的占空比。控制器的操作在[序列器操作示例](#)部分中讨论。

### 主机 SPI

控制由外部主机通过 3 线或 4 线 SPI 提供。3 线 SPI 使用  $\overline{\text{SPI\_CS}}$ 、SPI\_SCK 和 SPI\_SDIO 引脚，4 线 SPI 使用  $\overline{\text{SPI\_CS}}$ 、SPI\_SCK、SPI\_SDIO 和 SPI\_SDO 引脚。此接口用于通过存储器映射寄存器配置控制器。这些寄存器在[表 11](#)中介绍。

### 主机中断请求

使用 HW\_IRQ 信号  $\overline{\text{HW\_IRQ}}$  向主机提供中断请求。利用 SPI 端口可访问的一组寄存器选择产生主机中断请求的内部事件。事件选项包括系统错误、通道数据就绪、通道电压和电流超限检测、通道操作完成、辅助 ADC 高低阈值检测。

### 时钟

ADBT1002 从内部振荡器、外部 16 MHz 晶振或外部 16 MHz 振荡器获得所有内部时钟。当通道并联以提供更大电流容量时，可以配置相位交错以帮助最小化输入纹波和输出纹波。ADBT1002 还有允许多个 ADBT1002 器件同步的特性，支持 4 的倍数的并联通道操作。

### GPIOx 引脚

ADBT1002 有 16 个 GPIOx 引脚。GPIOx 引脚的典型用途包括控制直流母线和电池隔离开关，或从数字源获取数字输入。GPIOx 引脚可由用户通过下面的一组存储器映射寄存器进行编程。用于电池隔离开关的 GPIOx 引脚可以在控制序列器的全局寄存器中分配。此分配有利于启动时的预充电操作，防止连接电池时电流反向。另外，当并联使用多个

ADBT1002 器件时，可以配置 GPIOx 引脚来提供器件间数字均流通信。

GPIO\_PAD\_CFG 寄存器用于配置 GPIOx 引脚参数，包括摆率、迟滞和驱动强度。默认位域 GPIO\_SLEW、GPIO\_HYST 和 GPIO\_DRV 分别具有 5 ns、600 mV 和 10 $\Omega$  的默认设置。对于大多数应用，这些默认值通常是可接受的。

通过使用 16 位 GPIO\_IEN\_CFG 和 GPIO\_OEN\_CFG 寄存器，可以将各 GPIOx 引脚配置为输入或输出。每个寄存器中的位[15:0]对应于 GPIO0 至 GPIO15。

配置为标准 GPIOx 引脚时，有五个 16 位寄存器可以与这些引脚交互。在每种情况下，位 0 对应于 GPIO0，位 15 对应于 GPIO15。可以读取 GPIO\_READ 寄存器以查看每个 GPIOx 引脚的状态，可以写入 GPIO\_WRITE 寄存器以将输出引脚设置为 1 或 0。GPIO\_SET、GPIO\_CLEAR、GPIO\_TOGGLE 寄存器分别设置、清除或切换设置为标准 GPIOx 引脚输出的 GPIOx 引脚。

除基本的用户控制 GPIO 操作外，GPIOx 引脚还可以配置为特定工作模式。此配置通过 GPIO\_MODE\_CFG0（用于 GPIO0 至 GPIO7 引脚）和 GPIO\_MODE\_CFG1（用于 GPIO8 至 GPIO15 引脚）寄存器完成。所有 GPIOx 引脚都可以配置为标准 GPIO 输入和输出功能，或者为由序列器控制。后者用于控制电池隔离开关，该开关用作预充电操作的一部分。当多个器件并联使用时，GPIO0 至 GPIO7 的其他选项是用于器件间通信的独特功能。

在特定通道中，当 GPIOx 引脚由序列器控制时，通道 GPIO\_CFG 寄存器的 4 个 LSB 用于选择由该通道的序列器控制的 GPIOx 引脚。

### 辅助 ADC

一个 8 通道 12 位 ADC 可用于专用（例如内部温度）或通用外部测量。请注意，4 个通道具有可选的电流源，用于外部热敏电阻温度测量。直流母线电压也可以在 ADC 通道上检测，并用于前馈控制机制以降低直流母线瞬变的影响。所有辅助 ADC 操作都是用户可配置的。

### 支持库仑效率测量

库仑效率指放电期间容量与充电期间容量之比。ADBT1002 通过电流对时间积分来支持这种测量。积分结果可通过一组寄存器访问。

## 工作原理

### 支持预充电操作

在新的化成或测试周期之前连接到一个电池单元时，从电池到放电输出级可能会有一个较大的浪涌电流。

ADBT1002 允许用户在连接到电池单元之前将输出级预充电，更多信息参见[预充电操作](#)部分。

## 序列器

### 指令定义

ADBT1002 的工作方式是在四个通道中的每个通道上执行指令。每个指令管理控制环路。ADBT1002 可以采用恒定电流和恒定电压工作。

### 序列化模式

从用户角度看，执行指令存在三种可能的序列化模式：手动、半自动和自动。

#### 手动模式

在手动序列化模式下，主机中央处理单元(CPU)负责将指令馈送到 ADBT1002。用户将完整指令写入通道寄存器映射的下一指令区域（即前缀为 SEQ\_NEXT\_xxx 的寄存器）。然后，用户写入自清零起始位，启动此指令的执行。指令会提供一个限

值或超时，当超限或超时时 ADBT1002 产生一个标志并触发 ADBT1002 中断控制器。用户必须处理该中断，写入下一个指令，并设置起始位。ADBT1002 继续执行最后一个指令，直到主机 CPU 处理中断为止。

通道内的寄存器映射为指令提供固定布局。这种布局的后果是所有可能的位域都可以独立使用，无论指令是否使用该信息。主机 CPU 负责写入所有必需的位域，以使指令按预期执行。

针对指令写入有一个双缓冲机制。只有写入起始位后，才会将指令副本转送到状态机并执行。该技术允许预先写入下一个指令。作为一项调试特性，可以访问有关指令执行的寄存器。

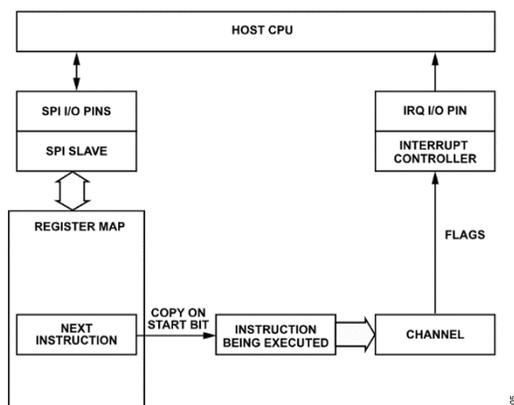


图 5. 手动序列化模式

## 序列器

### 半自动模式

在半自动模式下，当满足以下条件时，执行下一指令的副本：

- ▶ 当前指令达到限值（电压、电流或时间），这也是手动模式下可以抛出中断的原因。
- ▶ 一个新指令已完全写入寄存器映射中。

为避免顺序执行相同的指令，有一个位域指示下一指令是否完全写入，如下所述：

- ▶ 用户通过寄存器映射中的自清零 NEXT\_INSTR\_READY 位设置标志。
- ▶ 只要从寄存器映射复制指令，就会清除标志。

无论前一指令的状态如何，起始位都会复制指令。这样的操作会清除内部寄存器。然后出于调试目的，通过寄存器映射回读内部标志。

### 自动模式

在自动序列化模式下，在设置起始位之前，必须将所有指令写入指令存储器。起始位将指令指针复位为通道存储器的开始。每个指令都提供一个限值或超时，达到限值或超时即终止当前指令，并让指令指针指向下一个指令。当所有指令都完成执行时，通道向中断控制器发出标志。一旦指令序列终止，ADBT1002 便会禁止 DH 和 DL 信号上的任何活动。

通道存储器中存储的指令使用 16 位字，具有可变长度有效载荷。固定的标头是一个字长。有效载荷取决于标头中声明的指令。指令指针根据预期的有效载荷前进。可以使用 GUI 来帮助用户编写指令存储器。

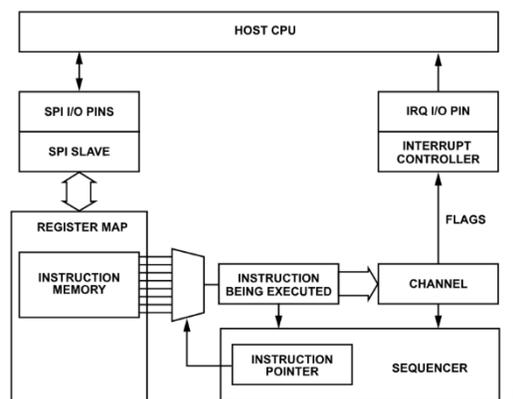


图 6. 自动序列化模式

## 序列器

### 充电和放电指令模式

ADBT1002 为每个通道提供两个 PID 控制环路：电流环路和电压环路。在任何给定时间，只有一个 PID 控制环路处于控制状态。处于控制状态的 PID 控制环路是经滤波的 ADC 样本与目标设定值之间的误差最小的控制环路。请注意，VMEAS 是 V 通道上的测量结果。

有两个独立的位来配置控制环路的行为：

- ▶ 恒流，I 通道处于控制状态，环路目标设置为电流设定值(ISET)。
- ▶ 恒压，V 通道处于控制状态，环路目标设置为电压设定值(VSET)。

有 4 种可能的模式组合；若考虑环路是在给电池充电还是放电，则有 8 种模式组合。

VSET 位（寄存器 SEQ\_NEXT\_VSET 中的 15 个 LSB）可以指绝对值或基于 VMEAS 的变化值，具体取决于 VSET\_DELTA 位（寄存器 SEQ\_NEXT\_VSET 的 MSB）。变化值的主要目的是允许以相对于最后一个 VMEAS 值的偏移量来写入 VSET 值。启动（即预充电）程序使用零偏移量的 VSET\_DELTA 位来达到当前电池电压值。预充电操作在[预充电操作](#)部分中讨论。

### 充电和放电指令限值

有三个 16 位可编程位域表示指令限值。VLIMIT 与恒流工作模式相关联，可用于指示恒流充电或放电的终点。ILIMIT 与恒压工作模式相关联，通常用于指示恒压充电或放电操作的终点。TLIMIT 可用于设置指令的持续时间，或设置超限错误，表示指令应更早完成。

#### VLIMIT

下面详细说明 VLIMIT 位的操作（寄存器 SEQ\_VLIMIT）：

- ▶ VLIMIT 阈值用于判断恒流模式充电或放电指令是否结束。
- ▶ 在恒压和恒流模式的指令中，VLIMIT 不允许在越过 VLIMIT 之前越过 ILIMIT（位[14:0]，寄存器 SEQ\_ILIMIT）以结束指令，从而避免指令过早终止。此外，在达到此阈值之前，不允许 V 通道 PID 接管控制。

- ▶ 如果 VLIMIT\_DELTA (MSB)位清 0，则 VLIMIT 位[14:0]表示绝对正电压。
- ▶ 如果 VLIMIT\_DELTA 位置 1，则限值被理解为相对于执行指令期间读取的第一个 VMEAS 值的增量（充电）或减量（放电）。该位的主要作用是动态设置此限值，而无需在写入本指令之前读取 ADC 值。该位与 VSET\_DELTA 位（寄存器 SEQ\_VSET）相关。
- ▶ 当测量的电压高于或等于充电指令的 VLIMIT 阈值时，即达到 VLIMIT。
- ▶ 当测量的电压低于或等于放电指令的 VLIMIT 阈值时，即达到 VLIMIT。

#### ILIMIT

下面详细说明 ILIMIT 位的操作（寄存器 SEQ\_ILIMIT）：

- ▶ ILIMIT 阈值用于判断恒压模式有效时充电或放电指令是否结束。
- ▶ ILIMIT 位[14:0]始终表示绝对电流幅度。
- ▶ 当测量的电流低于或等于充电指令的 ILIMIT 阈值时，即达到 ILIMIT。充电时反向电流触发该限值。
- ▶ 当测量的电流高于或等于电池放电指令的 ILIMIT 阈值的负值时，即达到 ILIMIT。放电时反向电流触发该限值。

#### TLIMIT

下面详细说明 NEXT\_TLIMIT\_SCALE 和 NEXT\_TLIMIT\_VAL 位域（寄存器 SEQ\_NEXT\_TLIMIT）的用途：

- ▶ TLIMIT 是超时触发事件的目标。当经过的时间等于或大于 TLIMIT 时，触发器置为有效。
  - ▶ 超时触发事件可用于错误（如果一个指令必须通过另一限值终止），或用于指令的定时执行（无错误）。
- ▶ SEQ\_NEXT\_TLIMIT 位[15:0]编码如下：
  - ▶ NEXT\_TLIMIT\_SCALE 位[15:14]为时间单位，3 = 分钟，2 = 分钟，1 = 毫秒，0 = 微秒。
  - ▶ NEXT\_TLIMIT\_VAL 位[13:0]是整数。
- ▶ 时间单位设置分辨率和最大时间值。在分钟的尺度上，分辨率是分钟，最长时间为 11.3 天。在微秒的尺度上，分辨率是微秒，最大时间约为 16.5 ms。

## 序列器

### 零值限值的含义

以下限值具有特殊含义：

- ▶ TLIMIT\_VAL = 0 意味着禁用超时，不产生标志。
- ▶ ILIMIT = 0 或任何低值意味着恒压操作可能需要很长时间才能完成。
- ▶ VLIMIT = 0 会导致恒流操作立即终止。

### 摆率

ADBT1002 提供设定目标的摆率功能，以平滑指令之间的过渡。禁用此功能时，控制环路的误差信号呈现为阶跃波形。使能此功能时，阶跃波形变成斜坡波形。

如果使能目标值摆率功能，则作为指令的一部分，ADBT1002 将目标值从其测量值斜坡变化到设定的目标值。寄存器映射提供 ISET 和 VSET 位的摆率。摆率用两个位域描述：代码和时间。代码单位在 ADC 代码中，时间在 PID 和 PWM 更新率范围之内。斜坡的起点是在以下限制下测量的第一个值：

- ▶ 在充电指令中，ISET 不能是负值。如果有逆电流，则 ISET 从 0 开始，斜坡上升到设定的目标值。
- ▶ 在放电指令中，ISET 不能是正值。如果有正电流，则 ISET 从 0 开始，斜坡下降到设定的目标值。
- ▶ VSET 总是为正。

使用恒定电流的充电和放电指令会使 ISET 呈斜坡变化。使用恒定电压的充电和放电指令会使 VSET 呈斜坡变化。

### 并联操作

多个通道可以并联工作以提高工作电流。当多个通道并联工作时，一个通道被声明为主通道，并将 I 通道的测量结果(IMEAS)传输到其他通道。关于主通道的工作方式，请参阅[两个并联、两个独立通道应用案例](#)部分和[四通道并联应用案例](#)部分。其他通道以恒流模式工作，并以主通道的原始 IMEAS 为目标。请注意，IMEAS 值补偿增益和失调。

并联工作的通道组可以跨越多个 ADBT1002 芯片。

在单个 ADBT1002 芯片的通道之间传输 IMEAS 发生在一个 PID 周期内。在不同 ADBT1002 芯片的通道之间传输 IMEAS 取决于芯片间 SPI 通信速率(8 MHz)。每传输 16 位 IMEAS，主器件和从器件之间的通信需要 2 $\mu$ s。

### 标志

标志模块生成标志并告知 ADBT1002 的中断控制器模块。然后，用户根据需要取消屏蔽个别标志（在 INT\_EN\_CH\_x 寄存器中）以生成中断。当读取包含该标志的通道中断状态寄存器时，标志清零。

当指令达到最后限值时，或者当达到超时指令时，则设置 INSTR\_DONE 标志。出于调试目的，此标志与 SEQ\_DONE 标志单独分开。当加载新的指令时，INSTR\_DONE 标志在自动模式下复位。起始位只能在手动模式下复位 INSTR\_DONE 标志。

如果在自动模式下，当最后一个指令完成时，SEQ\_DONE 标志置 1。在手动模式下，此标志永远不会设置，起始位会复位 SEQ\_DONE 标志。

当达到超时时，如果标志不是另一个限值终止或 HALT 指令，则产生 INSTR\_TIMEOUT 标志。

当输入数据（ADC 原始数据，以便获得更好的延迟）达到用户指定的 VMEAS 和 IMEAS 低值/高值时，具体而言分别是 VMEAS\_OVER\_LIMITS\_LOW\_THLD、VMEAS\_OVER\_LIMITS\_HIGH\_THLD、IMEAS\_OVER\_LIMITS\_LOW\_THLD 和 IMEAS\_OVER\_LIMITS\_HIGH\_THLD，即产生 VMEAS\_OVER\_LMT 和 IMEAS\_OVER\_LMT 标志。用户还可以指定连续超限采样数以供检测。

当序列器读取下一指令（通道 SEQ\_NEXT\_INST 寄存器中的 NEXT\_USER\_IRQ 位置 1）并完成该指令的执行时，INSTR\_USER\_IRQ 标志置 1。

在不属于指令部分的各种事件期间，INSTR\_ERR 标志置 1。指令错误会在通道寄存器映射中写入调试错误代码，以便可以主机读取。错误代码包括格式错误的指令和除零。

检测到模式转换时，诸如恒流变为恒压，INSTR\_MODE\_TRANS 标志置 1。

**表 7. 序列器标志**

标志	说明
指令完成, INSTR_DONE	指令已经结束。如果在手动序列化模式下，则 ADBT1002 期望新的指令。
序列完成, SEQ_DONE	执行了 Halt 指令或指令指针指向指令存储器之外。
超时, INSTR_TIMEOUT	如果指令设置为产生超时标志，则达到了 TLIMIT。

序列器

表 7. 序列器标志

标志	说明
测量电流 (IMEASUREMENT) 超限, IMEAS_OVER_LMT	IMEAS 在全局编程的阈值之外。
测量电压 (VMEASUREMENTS) 超限, VMEAS_OVER_LMT	VMEAS 在全局编程的阈值之外。
用户中断, INSTR_USER_IRQ	执行了具有 NEXT_USER_IRQ 位的指令。
指令错误, INSTR_ERR	各种动机。此标志是读取指令错误代码。
指令模式转换, INSTR_MODE_TRANS	指令从一个模式转换到另一模式, 例如在恒流至恒压操作中从恒流模式变为恒压模式。

全局寄存器设置

以下全局寄存器设置列表位于通道寄存器映射之外, 这些设置会影响所有四个通道:

- ▶ PWM 和环路更新速率, 这对于所有变化都相同, 速率可配置为 500 kHz、250 kHz、125 kHz 和 62.5 kHz。
- ▶ 并联操作的通道配置。
- ▶ 中断控制器设置。
- ▶ 辅助 ADC 配置和读数。

通道静态设置

下面的通道静态设置是驻留在每个通道寄存器映射中的寄存器, 但这些设置不是每个指令都能控制的。

- ▶ 摆率设置 (使能位在指令中)
- ▶ 测量超限阈值 (自动关闭通道的硬性限值)
- ▶ PWM 自动异步模式转换阈值
- ▶ 下面是数字信号处理器(DSP)数据路径设置:
  - ▶ 读出滤波器抽取率
  - ▶ 数控振荡器(NCO)
  - ▶ 频率响应分析(FRA)解调器

指令集架构

下面是可以写入通道序列器中的指令。存储器中的字大小为 16 位宽。每个指令都有一个字作为标头, 有零个或多个字作为有效载荷。

为了简化寄存器图, 16 位字分为两行, 第一行为低 8 位, 第二行为高 8 位。

手动序列化模式提供一组有限的指令。

标有 X 的位意味着这些位的内容无关紧要。建议将 0 写入这些位。

标头的位[1:0]定义指令 INST\_TYPE。指令包括休息、停止、充电或放电。

CC 和 CV 是标头中的位, 表示电池的充电或放电工作模式。

DISABLE\_VI\_LIMITS 禁止使用用于确定指令结束条件的 VLIMIT 或 ILIMIT。该位还禁止为任何电压或电流测量超限情况产生标志。

PWM\_AUTO\_ASYNC\_ENABLE 使能或禁用基于电流测量结果的自动 PWM 异步模式转换。

TLIMIT\_MODE 指示时间限值是否为正常结束条件, 如果此位是超时错误, 则达到超时时产生一个标志。

SLEW\_EN 用于在充电或放电过程中使能一个以斜坡方式达到 ISET 或 VSET 目标值的程序。

GPIO\_VAL 设置与 GPIOx 相关的通道值。在标准应用中, 相关的 GPIOx 控制一个将电池与稳压器连接或断开的开关。通道寄存器映射内的静态寄存器确定该 GPIO\_VAL 位控制哪个 GPIOx。

LOOP\_START 置 1 时, 表示作为循环一部分的第一个指令。硬件存储地址指针。设置时, 有效载荷中的第一个字必须是循环的迭代次数。如果内部循环计数器为 0, 则指令将循环计数器设置为此值。

LOOP\_END 置 1 时, 表示作为循环一部分的最后指令。循环计数器递减。如果新的循环计数器值不是 0, 则程序跳转到循环的第一个指令。

V\_SEL 位表示以下两个将数据馈送到 V 通道的选项:

- ▶ 电池电压测量 = 1'b0 表示测量在 BVP\_x 和 BVN\_x 引脚上进行。
- ▶ 电容电压测量 = 1'b1 表示测量在 CVS\_x 和 BVN\_x 引脚上进行。

PID\_COEF\_SET 表示 PID 系数的不同选项。当电池未连接时, 最好保留一组供启动程序使用, 另一组用于充电或放电指令。

USER\_IRQ 让指令在完成执行时产生一个用户自定义的中断。

## 序列器

表 8. 指令头

标头	7	6	5	4	3	2	1	0
标头 LSB 位	PWM_AUTO_ ASYNC_ ENABLE	DISABLE_VI_ LIMITS	RESERVED	RESERVED	CC	CV	INST_TYPE[1:0]	
标头 MSB 位	TLIMIT_MODE	USER_IRQ	PID_COEF_SET	V_SEL	LOOP_END	LOOP_START	GPIO_VAL	SLEW_EN

## 序列器

### Halt

Halt 编码为  $INST\_TYPE = 2'b00$ 。

此指令暂停程序，从而在自动模式下产生通道 SEQ\_DONE 标志。程序指针不前进。PWM (DHx/DLx) 输出用逻辑低电平覆盖。

没有与 Halt 指令相关联的有效载荷。

### Rest

Rest 编码为  $INST\_TYPE = 2'b01$ 。

在 Rest 指令期间，PID 输出在 TLIMIT 期间保持不

变，以便为下一指令做好准备。PWM 输出用逻辑低电平覆盖。GPIO\_VAL 可用于断开电池。通道也可以用作数据采集系统，用于在此指令期间进行电压和电流测量。

Rest 指令有效载荷如表 9 所示。请注意，TLIMIT 是必需参数。如果 LOOP\_START 置 1，则需要 LOOP\_CNT 值。仅限自动模式下，若指令中 LOOP\_START 位置 1，则必须包括 LOOP\_CNT (8 位计数)。稍后的 LOOP\_END 位置 1 的指令决定循环中重复的指令列表的结束。

**表 9. Rest 指令有效载荷**

有效载荷	7	6	5	4	3	2	1	0
有效载荷 0 LSB 位	TLIMIT, 位[7:0]							
有效载荷 0 MSB 位	TLIMIT, 位[15:8]							
有效载荷 1 LSB 位	LOOP_CNT, 位[7:0] (仅当 LOOP_START 设置时)							
有效载荷 1 MSB 位	x (无关)							

## 序列器

## 充电和放电操作

这些指令是 ADBT1002 的主要用途所在，控制电池的充电或放电。

有效载荷取决于标头中使能了哪些位域。

DHx 和 DLx 输出处于活动状态，并基于控制环路。VLIMIT\_DELTA 和 VSET\_DELTA 位告知 VLIMIT 或 VSET 是否基于最后的 V 通道测量结果。

表 10. 充电和放电指令有效载荷

标头或有效载荷	7	6	5	4	3	2	1	0
标头 LSB <sup>1</sup>								
标头 MSB <sup>1</sup>								
有效载荷 0 LSB 位	ISET, 位[7:0] (仅当 CC 设置时)							
有效载荷 0 MSB 位	x (无关)	ISET, 位[14:8] (仅当 CC 设置时)						
有效载荷 1 LSB 位	VSET, 位[7:0] (仅当 CV 设置时)							
有效载荷 1 MSB 位	VSET_DELTA	VSET[14:8] (仅当 CV 设置时)						
有效载荷 2 LSB 位	保留							
有效载荷 2 MSB 位	保留							
有效载荷 3 LSB 位	保留							
有效载荷 3 MSB 位	保留							
有效载荷 4 LSB 位	ILIMIT, 位[7:0] (仅当 CV 设置时)							
有效载荷 4 MSB 位	x (无关)	ILIMIT, 位[14:8] (仅当 CV 设置时)						
有效载荷 5 LSB 位	VLIMIT, 位[7:0] (仅当 CC 设置时)							
有效载荷 5 MSB 位	VLIMIT_DELTA	VLIMIT, 位[14:8] (仅当 CC 设置时)						
有效载荷 6 LSB 位	TLIMIT, 位[7:0]							
有效载荷 6 MSB 位	TLIMIT, 位[15:8]							
有效载荷 7 LSB 位	LOOP_CNT <sup>2</sup> , 位[7:0] (仅当 LOOP_START 设置时)							
有效载荷 7 MSB 位	x (无关)							

<sup>1</sup> 有关此行的其他信息，请参阅指令集架构部分和表 8。

<sup>2</sup> 仅限自动模式下，若指令中 LOOP\_START 位置 1，则必须包括 LOOP\_CNT (8 位计数)。稍后的 LOOP\_END 位置 1 的指令决定循环中重复的指令列表的结束。

## 序列器

## 序列器操作示例

为了说明限值和设定值如何交互，下面举一个恒流至恒压充电例子。

## 恒流至恒压充电操作

图 7 演示了 ISET、VSET、ILIMIT 和 VLIMIT 在恒流至恒压充电操作中的用途。ISET 和 VSET 分别是目标恒流和恒压值。ILIMIT 是表示充电周期的恒压部分结束的电池电流电平。VLIMIT 是恒压环路可以与恒流环路争夺控制权的最小电池电压电平。

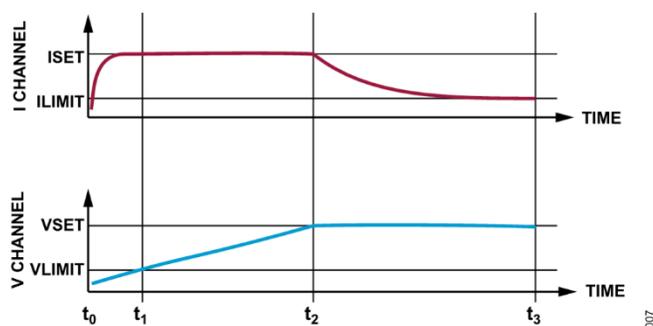


图 7. 恒流至恒压操作

充电操作在  $t_0$  开始。充电电流为 0，电池电压在开始时为开路电压。从  $t_0$  到  $t_1$ ，只有恒流环路处于控制状态。 $t_1$  是电池电压超过 VLIMIT 的时刻。没有 VLIMIT，充电可能过早地停止，因为开始时的初始电池电流为 0，小于 ILIMIT。从  $t_1$  到  $t_2$ ，恒流和恒压环路竞争控制权。误差最低的环路处于控制状态。在  $t_2$  时，控制权从恒流环路转移到恒压环路。请注意，电池电压和 VSET 之间的误差为 0。从  $t_2$  到  $t_3$ ，恒压环路处于控制状态，充电电流降低。在  $t_3$  时，充电电流达到 ILIMIT。在手动序列化模式下，产生 INSTR\_DONE 标志，进而产生中断请求。主机必须处理中断请求，并停止指令或开始新的指令。否则，在手动模式下，当前指令会持续执行。在半自动模式下，如果预加载了另一个指令，则其在达到当前指令限值时开始执行。否则，若没有预加载下一指令，则像手动模式一样，相同的操作继续执行。无论何种情况，INSTR\_DONE 标志都会设置，可使用它来生成主机中断。在自动模式下，执行序列中的下一个指令。

## 存储器映射寄存器

表 11. 寄存器模块汇总

名称	模块	地址
SPI_SLV_CTRL	SPI_SLV_CTRL	0x0000
SYSTEM_CTRL	MISC_CTRL_DIG	0x1000
ADC_CTRL	ADC_COMMON_SETTINGS	0x2800
CHANNEL_CTRLA	CHANNEL_REGMAP	0x3000
CHANNEL_CTRLB	CHANNEL_REGMAP	0x3200
CHANNEL_CTRLC	CHANNEL_REGMAP	0x3400
CHANNEL_CTRLD	CHANNEL_REGMAP	0x3600
CHANNEL_MEM0	SEQ_MEMORY	0x3800
CHANNEL_MEM1	SEQ_MEMORY	0x3A00
CHANNEL_MEM2	SEQ_MEMORY	0x3C00
CHANNEL_MEM3	SEQ_MEMORY	0x3E00

表 11 显示各种 ADBT1002 寄存器块及其起始地址。SPI\_SLV\_CTRL 块包含一组用于配置 SPI 端口和通信协议的寄存器。

SYSTEM\_CTRL 块包含一组全局寄存器，用于系统配置、辅助 ADC 配置、辅助 ADC 数据回读、多通道配置和中断管理。

ADC\_CTRL 块包含几个用于使能辅助 ADC 通道以及使能电流激励以进行外部温度测量的寄存器。

4 个 CHANNEL\_CTRLx 块各包含相同的一组寄存器，通道间地址偏移 0x0200。各通道块配置通道序列化器操作、诊断配置和数据回读。

CHANNEL\_MEMx 块不包含任何寄存器，这些块各包含 128 个 16 位位置，当选择自动工作模式时，这些位置存储序列化器配置参数。

表 12. SPI\_SLV\_CTRL (SPI\_SLV\_CTRL) 寄存器汇总

地址	名称	描述	复位	访问类型
0x0	INTERFACE_CONFIG	接口配置	0x06	R/W
0x1	STREAM_MODE	配置循环计数	0x00	R/W
0x2	INTERFACE_STATUS	接口状态	0x00	R/W

表 13. SYSTEM\_CTRL (MISC\_CTRL\_DIG) 寄存器汇总

地址	名称	描述	复位	访问类型
0x1000	RST_CTRL	软件复位控制寄存器	0x0000	R/W
0x1001	PMU_CLOCK_SEL	电源管理单元(PMU)时钟选择寄存器	0x0001	R/W
0x1002	PMU_CHANNEL_CFG0	通道使能选择寄存器	0x0010	R/W
0x1003	PMU_CHANNEL_CFG1	通道 A PWM 信号相位调整寄存器	0x0000	R/W
0x1004	PMU_CHANNEL_CFG2	通道 B PWM 信号相位调整寄存器	0x0200	R/W
0x1005	PMU_CHANNEL_CFG3	通道 C PWM 信号相位调整寄存器	0x0400	R/W
0x1006	PMU_CHANNEL_CFG4	通道 D PWM 信号相位调整寄存器	0x0600	R/W
0x1010	RST_STA	复位状态寄存器	0x0000	R/W
0x1012	PMU_CLOCK_STATUS	PMU 时钟状态寄存器	0x0000	R
0x1013	PMU_OTP_STATUS	PMU OTP 状态寄存器	0x0000	R
0x1014	PMU_CHANNEL_STATUS	PWM 锁定状态寄存器	0x0000	R
0x101F	REV_ID_INFO	版本 ID 寄存器	0x00B2	R
0x1020	SPI_SLV_PAD_CFG	SPI 从机块配置寄存器	0x0E2A	R/W
0x1021	FAULT_PAD_CFG	故障块配置寄存器	0x0002	R/W
0x1022	GPIO_PAD_CFG	GPIO0 至 GPIO11 块配置寄存器	0x0035	R/W
0x1023	EXTCLKIO_PAD_CFG	外部输入和输出时钟块配置寄存器	0x0035	R/W
0x1024	HW_IRQ_PAD_CFG	硬件中断块配置寄存器	0x003D	R/W

## 存储器映射寄存器

表 13. SYSTEM\_CTRL (MISC\_CTRL\_DIG) 寄存器汇总

地址	名称	描述	复位	访问类型
0x1025	GPIO_IEN_CFG	GPIO 输入使能配置寄存器	0x0000	R/W
0x1026	GPIO_OEN_CFG	GPIO 输出使能配置寄存器	0x0000	R/W
0x1027	GPIO_MODE_CFG0	GPIO0 至 GPIO7 模式配置寄存器	0x0000	R/W
0x1028	GPIO_MODE_CFG1	GPIO8 至 GPIO15 模式配置寄存器	0x0000	R/W
0x1029	GPIO_READ	GPIO 数据读取寄存器	0x0000	R
0x102A	GPIO_WRITE	GPIO 数据写入寄存器	0x0000	R/W
0x102B	GPIO_SET	GPIO 数据设置寄存器	0x0000	W
0x102C	GPIO_CLEAR	GPIO 数据清零注册	0x0000	W
0x102D	GPIO_TOGGLE	GPIO 数据切换寄存器	0x0000	W
0x1040	AIN0_FILT_CFG0	应用于 AIN0 的滤波配置寄存器	0x0000	R/W
0x1041	AIN0_FILT_CFG1	应用于 AIN0 的滤波配置寄存器	0x0000	R/W
0x1042	AIN0_FILT_CFG2	应用于 AIN0 的滤波配置寄存器	0x0010	R/W
0x1043	AIN1_FILT_CFG0	应用于 AIN1 的滤波配置寄存器	0x0000	R/W
0x1044	AIN1_FILT_CFG1	应用于 AIN1 的滤波配置寄存器	0x0000	R/W
0x1045	AIN1_FILT_CFG2	应用于 AIN1 的滤波配置寄存器	0x0010	R/W
0x1046	AIN2_FILT_CFG0	应用于 AIN2 的滤波配置寄存器	0x0000	R/W
0x1047	AIN2_FILT_CFG1	应用于 AIN2 的滤波配置寄存器	0x0000	R/W
0x1048	AIN2_FILT_CFG2	应用于 AIN2 的滤波配置寄存器	0x0010	R/W
0x1049	AIN3_FILT_CFG0	应用于 AIN3 的滤波配置寄存器	0x0000	R/W
0x104A	AIN3_FILT_CFG1	应用于 AIN3 的滤波配置寄存器	0x0000	R/W
0x104B	AIN3_FILT_CFG2	应用于 AIN3 的滤波配置寄存器	0x0010	R/W
0x104C	AIN4_FILT_CFG0	应用于 AIN4 的滤波配置寄存器	0x0000	R/W
0x104D	AIN4_FILT_CFG1	应用于 AIN4 的滤波配置寄存器	0x0000	R/W
0x104E	AIN4_FILT_CFG2	应用于 AIN4 的滤波配置寄存器	0x0010	R/W
0x104F	AIN5_FILT_CFG0	应用于 AIN5 的滤波配置寄存器	0x0000	R/W
0x1050	AIN5_FILT_CFG1	应用于 AIN5 的滤波配置寄存器	0x0000	R/W
0x1051	AIN5_FILT_CFG2	应用于 AIN5 的滤波配置寄存器	0x0010	R/W
0x1052	AIN6_FILT_CFG0	应用于 AIN6 的滤波配置寄存器	0x0000	R/W

## 存储器映射寄存器

表 13. SYSTEM\_CTRL (MISC\_CTRL\_DIG) 寄存器汇总

地址	名称	描述	复位	访问类型
0x1053	AIN6_FILT_CFG1	应用于 AIN6 的滤波配置寄存器	0x0000	R/W
0x1054	AIN6_FILT_CFG2	应用于 AIN6 的滤波配置寄存器	0x0010	R/W
0x1055	AIN7_FILT_CFG0	应用于 AIN7 的滤波配置寄存器	0x0000	R/W
0x1056	AIN7_FILT_CFG1	应用于 AIN7 的滤波配置寄存器	0x0000	R/W
0x1057	AIN7_FILT_CFG2	应用于 AIN7 的滤波配置寄存器	0x0010	R/W
0x1058	TEMP_AFE_FILT_CFG0	应用于温度 AFE 的滤波配置寄存器	0x0000	R/W
0x1059	TEMP_AFE_FILT_CFG1	应用于温度 AFE 的滤波配置寄存器	0x0000	R/W
0x105A	TEMP_AFE_FILT_CFG2	应用于温度 AFE 的滤波配置寄存器	0x0010	R/W
0x105B	TEMP_DSP_FILT_CFG0	应用于温度 DSP 的滤波配置寄存器	0x0000	R/W
0x105C	TEMP_DSP_FILT_CFG1	应用于温度 DSP 的滤波配置寄存器	0x0000	R/W
0x105D	TEMP_DSP_FILT_CFG2	应用于温度 DSP 的滤波配置寄存器	0x0010	R/W
0x105E	DC_BUS_FILT_CFG0	应用于直流母线的滤波配置寄存器	0x0000	R/W
0x105F	DC_BUS_FILT_CFG1	应用于直流母线的滤波配置寄存器	0x0000	R/W
0x1060	DC_BUS_FILT_CFG2	应用于直流母线的滤波配置寄存器	0x0001	R/W
0x1061	DC_BUS_FILT_CFG3	直流母线滤波器初始延迟 (32 $\mu$ s 倍数) 寄存器	0x0000	R/W
0x1062	TEMP_INT_CAL_CFG	温度增益和失调内部校准配置寄存器	0x0000	R/W
0x1063	TEMP_CAL_0	校准点 0 温度值寄存器	0x0000	R/W
0x1064	TEMP_CAL_1	校准点 1 温度值寄存器	0x0000	R/W
0x1065	TEMP_CAL_2	校准点 2 温度值寄存器	0x0000	R/W
0x1066	TEMP_CAL_3	校准点 3 温度值寄存器	0x0000	R/W
0x106B	TEMP_CAL_INV_MSB_0	温度 0 和温度 1 之间斜率 MSB 寄存器	0x0000	R/W
0x106C	TEMP_CAL_INV_LSB_0	温度 0 和温度 1 之间斜率 LSB 寄存器	0x0000	R/W

## 存储器映射寄存器

表 13. SYSTEM\_CTRL (MISC\_CTRL\_DIG) 寄存器汇总

地址	名称	描述	复位	访问类型
0x106D	TEMP_CAL_INV_MSB_1	温度 1 和温度 2 之间斜率 MSB 寄存器	0x0000	R/W
0x106E	TEMP_CAL_INV_LSB_1	温度 1 和温度 2 之间斜率 LSB 寄存器	0x0000	R/W
0x106F	TEMP_CAL_INV_MSB_2	温度 2 和温度 3 之间斜率 MSB 寄存器	0x0000	R/W
0x1070	TEMP_CAL_INV_LSB_2	温度 2 和温度 3 之间斜率 LSB 寄存器	0x0000	R/W
0x1071	TEMP_EXT_CAL_CFG0	温度 1 增益外部校准配置寄存器	0x0000	R/W
0x1072	TEMP_EXT_CAL_CFG1	温度 1 增益外部校准配置寄存器	0x0000	R/W
0x1080	AIN0_READOUT	外部引脚 AIN0 测量结果寄存器	0x0000	R
0x1081	AIN1_READOUT	外部引脚 AIN1 测量结果寄存器	0x0000	R
0x1082	AIN2_READOUT	外部引脚 AIN2 测量结果寄存器	0x0000	R
0x1083	AIN3_READOUT	外部引脚 AIN3 测量结果寄存器	0x0000	R
0x1084	AIN4_READOUT	外部引脚 AIN4 测量结果寄存器	0x0000	R
0x1085	AIN5_READOUT	外部引脚 AIN5 测量结果寄存器	0x0000	R
0x1086	AIN6_READOUT	外部引脚 AIN6 测量结果寄存器	0x0000	R
0x1087	AIN7_READOUT	外部引脚 AIN7 测量结果寄存器	0x0000	R
0x1088	TEMP_AFE_READOUT	AFE 域温度测量结果寄存器	0x0000	R
0x1089	TEMP_DSP_READOUT	DSP 域温度测量结果寄存器	0x0000	R
0x1090	DC_BUS_READOUT	用于所有 PID 校正的直流母线滤波器结果寄存器	0x0000	R
0x1091	DC_BUS_CORR_FACTOR_READOUT	所有通道的直流母线校正系数寄存器	0x8000	R
0x10A0	MC_CTRL	多通道全局控制寄存器	0x0000	R/W
0x10A1	MC_CFG0	多通道模式，从机通道配置寄存器	0x0000	R/W
0x10A2	MC_CFG1	多通道模式，外部通信配置寄存器	0x0020	R/W

## 存储器映射寄存器

表 13. SYSTEM\_CTRL (MISC\_CTRL\_DIG) 寄存器汇总

地址	名称	描述	复位	访问类型
0x10A3	MC_PAD_CFG0	多通道模式，从机 SPI 块配置寄存器	0x002A	R/W
0x10A4	MC_PAD_CFG1	多通道模式，主机 SPI 块配置寄存器	0x0DDD	R/W
0x10C0	SYSTEM_INT_EN	系统中断使能寄存器	0x0000	R/W
0x10C1	INT_EN_CH_A	通道 A 中断使能寄存器	0x0000	R/W
0x10C2	INT_EN_CH_B	通道 B 中断使能寄存器	0x0000	R/W
0x10C3	INT_EN_CH_C	通道 C 中断使能寄存器	0x0000	R/W
0x10C4	INT_EN_CH_D	通道 D 中断使能寄存器	0x0000	R/W
0x10C5	INT_EN_AUX_ADC0	辅助测量中断使能寄存器	0x0000	R/W
0x10C6	INT_EN_AUX_ADC1	辅助测量中断使能寄存器	0x0000	R/W
0x10D0	SYSTEM_INT_ST	系统中断状态寄存器	0x0000	R/W
0x10D1	INT_ST_CH_A	通道 A 中断状态寄存器	0x0000	R/W
0x10D2	INT_ST_CH_B	通道 B 中断状态寄存器	0x0000	R/W
0x10D3	INT_ST_CH_C	通道 C 中断状态寄存器	0x0000	R/W
0x10D4	INT_ST_CH_D	通道 D 中断状态寄存器	0x0000	R/W
0x10D5	INT_ST_AUX_ADC0	辅助测量中断状态寄存器	0x0000	R/W
0x10D6	INT_ST_AUX_ADC1	辅助测量中断状态寄存器	0x0000	R/W

表 14. ADC\_CTRL (ADC\_COMMON\_SETTINGS) 寄存器汇总

地址	名称	描述	复位	访问类型
0x2800	AUX_ADC_CFG0	应用于 AIN0 至 AIN3 引脚的外部热敏电阻的电流值寄存器	0x0000	R/W
0x2801	AUX_ADC_CFG1	被测辅助输入和温度传感器控制寄存器	0x4000	R/W
0x2803	ADC_COMMON_REG	AFE 斩波和内部基准电压源放大器设置寄存器	0x00DA	R/W

## 存储器映射寄存器

表 15. CHANNEL\_CTRLA (CHANNEL\_REGMAP) 寄存器汇总

地址	名称	描述	复位	访问类型
0x3000	SEQ_CTRL	通道序列器控制寄存器	0x0000	R/W
0x3001	SEQ_STATUS	通道序列器状态寄存器	0x0000	R
0x3002	SEQ_MEM_PTR	通道序列器存储器地址指针寄存器	0x0000	R
0x3003	SEQ_INST	通道序列器指令寄存器	0x0000	R/W
0x3004	SEQ_ISET	通道序列器电流设定值寄存器	0x0000	R/W
0x3005	SEQ_VSET	通道序列器电压设定值寄存器	0x0000	R/W
0x3006	保留	保留	0x0000	R/W
0x3007	保留	保留	0x0000	R/W
0x3008	SEQ_ILIMIT	通道序列器电流限值寄存器	0x0000	R/W
0x3009	SEQ_VLIMIT	通道序列器电压限值寄存器	0x0000	R/W
0x300A	SEQ_TLIMIT	通道序列器时间限值寄存器	0x0000	R/W
0x300B	SEQ_NEXT_INST	通道序列器下一指令寄存器	0x0000	R/W
0x300C	SEQ_NEXT_ISET	通道序列器下一电流设定值寄存器	0x0000	R/W
0x300D	SEQ_NEXT_VSET	通道序列器下一电压设定值寄存器	0x0000	R/W
0x300E	保留	保留	0x0000	R/W
0x300F	保留	保留	0x0000	R/W
0x3010	SEQ_NEXT_ILIMIT	通道序列器电流限值寄存器	0x0000	R/W
0x3011	SEQ_NEXT_VLIMIT	通道序列器电压限值寄存器	0x0000	R/W
0x3012	SEQ_NEXT_TLIMIT	通道序列器下一时间限值寄存器	0x0000	R/W
0x3013	SLEW_RATE_CFG	设定值摆率配置寄存器	0x0000	R/W
0x3014	GPIO_CFG	通道相关 GPIO 配置寄存器	0x0000	R/W
0x3015	OPEN_LOOP_CFG	开环配置寄存器	0x0000	R/W
0x3016	OPEN_LOOP_DC_VAL_MSB	开环直流值(MSB)寄存器	0x0000	R/W
0x3017	OPEN_LOOP_DC_VAL_LSB	开环直流值(LSB)寄存器	0x0000	R/W
0x3018	SLAVE_CFG	从机配置寄存器	0x0008	R/W
0x3040	I_PID_KP_SET1_LSB	电流 PID 比例系数(LSB)寄存器, 设置 1	0x0000	R/W
0x3041	I_PID_KP_SET1_MSB	电流 PID 比例系数(MSB)寄存器, 设置 1	0x0010	R/W

## 存储器映射寄存器

表 15. CHANNEL\_CTRLA (CHANNEL\_REGMAP) 寄存器汇总

地址	名称	描述	复位	访问类型
0x3042	I_PID_KI_SET1_LSB	电流 PID 积分系数(LSB)寄存器, 设置 1	0x0000	R/W
0x3043	I_PID_KI_SET1_MSB	电流 PID 积分系数(MSB)寄存器, 设置 1	0x0000	R/W
0x3044	I_PID_KD_SET1_LSB	电流 PID 微分系数(LSB)寄存器, 设置 1	0x0000	R/W
0x3045	I_PID_KD_SET1_MSB	电流 PID 微分系数(MSB)寄存器, 设置 1	0x0000	R/W
0x3046	V_PID_KP_SET1_LSB	电压 PID 比例系数(LSB)寄存器, 设置 1	0x0000	R/W
0x3047	V_PID_KP_SET1_MSB	电压 PID 比例系数(MSB)寄存器, 设置 1	0x0010	R/W
0x3048	V_PID_KI_SET1_LSB	电压 PID 积分系数(LSB)寄存器, 设置 1	0x0000	R/W
0x3049	V_PID_KI_SET1_MSB	电压 PID 积分系数(MSB)寄存器, 设置 1	0x0000	R/W
0x304A	V_PID_KD_SET1_LSB	电压 PID 微分系数(LSB)寄存器, 设置 1	0x0000	R/W
0x304B	V_PID_KD_SET1_MSB	电压 PID 微分系数(MSB)寄存器, 设置 1	0x0000	R/W
0x304C	I_PID_KP_SET2_LSB	电流 PID 比例系数(LSB)寄存器, 设置 2	0x0000	R/W
0x304D	I_PID_KP_SET2_MSB	电流 PID 比例系数(MSB)寄存器, 设置 2	0x0010	R/W
0x304E	I_PID_KI_SET2_LSB	电流 PID 积分系数(LSB)寄存器, 设置 2	0x0000	R/W
0x304F	I_PID_KI_SET2_MSB	电流 PID 积分系数(MSB)寄存器, 设置 2	0x0000	R/W
0x3050	I_PID_KD_SET2_LSB	电流 PID 微分系数(LSB)寄存器, 设置 2	0x0000	R/W
0x3051	I_PID_KD_SET2_MSB	电流 PID 微分系数(MSB)寄存器, 设置 2	0x0000	R/W
0x3052	V_PID_KP_SET2_LSB	电压 PID 比例系数(LSB)寄存器, 设置 2	0x0000	R/W
0x3053	V_PID_KP_SET2_MSB	电压 PID 比例系数(MSB)寄存器, 设置 2	0x0010	R/W
0x3054	V_PID_KI_SET2_LSB	电压 PID 积分系数(LSB)寄存器, 设置 2	0x0000	R/W
0x3055	V_PID_KI_SET2_MSB	电压 PID 积分系数(MSB)寄存器, 设置 2	0x0000	R/W

## 存储器映射寄存器

表 15. CHANNEL\_CTRLA (CHANNEL\_REGMAP) 寄存器汇总

地址	名称	描述	复位	访问类型
0x3056	V_PID_KD_SET2_LSB	电压 PID 微分系数(LSB)寄存器, 设置 2	0x0000	R/W
0x3057	V_PID_KD_SET2_MSB	电压 PID 微分系数(MSB)寄存器, 设置 2	0x0000	R/W
0x3058	PID_CCCV_KTRANS_SET1	PID 恒流至恒压转换系数, 设置 1	0x0000	R/W
0x3059	PID_CCCV_KTRANS_SET2	PID 恒流至恒压转换系数, 设置 2	0x0000	R/W
0x305A	TEMP_EXT_CAL_0	外部校准点 0 温度值寄存器	0x0000	R/W
0x305B	TEMP_EXT_CAL_1	外部校准点 1 温度值寄存器	0x0000	R/W
0x305C	TEMP_EXT_CAL_2	外部校准点 2 温度值寄存器	0x0000	R/W
0x305D	TEMP_EXT_CAL_3	外部校准点 3 温度值寄存器	0x0000	R/W
0x305E	TEMP_EXT_CAL_4	外部校准点 4 温度值寄存器	0x0000	R/W
0x305F	TEMP_EXT_CAL_5	外部校准点 5 温度值寄存器	0x0000	R/W
0x3060	TEMP_EXT_CAL_INV_MSB_0	外部温度 0 和温度 1 之间斜率 MSB 寄存器	0x0000	R/W
0x3061	TEMP_EXT_CAL_INV_LSB_0	外部温度 0 和温度 1 之间斜率 LSB 寄存器	0x0000	R/W
0x3062	TEMP_EXT_CAL_INV_MSB_1	外部温度 1 和温度 2 之间斜率 MSB 寄存器	0x0000	R/W
0x3063	TEMP_EXT_CAL_INV_LSB_1	外部温度 1 和温度 2 之间斜率 LSB 寄存器	0x0000	R/W
0x3064	TEMP_EXT_CAL_INV_MSB_2	外部温度 2 和温度 3 之间斜率 MSB 寄存器	0x0000	R/W
0x3065	TEMP_EXT_CAL_INV_LSB_2	外部温度 2 和温度 3 之间斜率 LSB 寄存器	0x0000	R/W
0x3066	TEMP_EXT_CAL_INV_MSB_3	外部温度 3 和温度 4 之间斜率 MSB 寄存器	0x0000	R/W
0x3067	TEMP_EXT_CAL_INV_LSB_3	外部温度 3 和温度 4 之间斜率 LSB 寄存器	0x0000	R/W

## 存储器映射寄存器

表 15. CHANNEL\_CTRLA (CHANNEL\_REGMAP) 寄存器汇总

地址	名称	描述	复位	访问类型
0x3068	TEMP_EXT_CAL_INV_MSB_4	外部温度 4 和温度 5 之间斜率 MSB 寄存器	0x0000	R/W
0x3069	TEMP_EXT_CAL_INV_LSB_4	外部温度 4 和温度 5 之间斜率 LSB 寄存器	0x0000	R/W
0x306A	I_GAIN_EXT_CAL_T0	温度 0 的电流增益外部校准、带符号 2.14 寄存器	0x4000	R/W
0x306B	I_GAIN_EXT_CAL_T1	温度 1 的电流增益外部校准、带符号 2.14 寄存器	0x4000	R/W
0x306C	I_GAIN_EXT_CAL_T2	温度 2 的电流增益外部校准、带符号 2.14 寄存器	0x4000	R/W
0x306D	I_GAIN_EXT_CAL_T3	温度 3 的电流增益外部校准、带符号 2.14 寄存器	0x4000	R/W
0x306E	I_GAIN_EXT_CAL_T4	温度 4 的电流增益外部校准、带符号 2.14 寄存器	0x4000	R/W
0x306F	I_GAIN_EXT_CAL_T5	温度 5 的电流增益外部校准、带符号 2.14 寄存器	0x4000	R/W
0x3070	V_GAIN_INT_CAL_T0	温度 0 的电压增益内部校准、带符号 2.14 寄存器	0x4000	R/W
0x3071	V_GAIN_INT_CAL_T1	温度 1 的电压增益内部校准、带符号 2.14 寄存器	0x4000	R/W
0x3072	V_GAIN_INT_CAL_T2	温度 2 的电压增益内部校准、带符号 2.14 寄存器	0x4000	R/W
0x3073	V_GAIN_INT_CAL_T3	温度 3 的电压增益内部校准、带符号 2.14 寄存器	0x4000	R/W
0x3074	I_GAIN_INT_CAL_T0	温度 0 的电流增益内部校准、带符号 2.14 寄存器	0x4000	R/W
0x3075	I_GAIN_INT_CAL_T1	温度 1 的电流增益内部校准、带符号 2.14 寄存器	0x4000	R/W
0x3076	I_GAIN_INT_CAL_T2	温度 2 的电流增益内部校准、带符号 2.14 寄存器	0x4000	R/W
0x3077	I_GAIN_INT_CAL_T3	温度 3 的电流增益内部校准、带符号 2.14 寄存器	0x4000	R/W
0x3078	V_OFFSET_INT_CAL_T0	温度 0 的电压失调内部校准、带符号 1.15 寄存器	0x0000	R/W
0x3079	V_OFFSET_INT_CAL_T1	温度 1 的电压失调内部校准、带符号 1.15 寄存器	0x0000	R/W

## 存储器映射寄存器

表 15. CHANNEL\_CTRLA (CHANNEL\_REGMAP) 寄存器汇总

地址	名称	描述	复位	访问类型
0x307A	V_OFFSET_INT_CAL_T2	温度 2 的电压失调内部校准、带符号 1.15 寄存器	0x0000	R/W
0x307B	V_OFFSET_INT_CAL_T3	温度 3 的电压失调内部校准、带符号 1.15 寄存器	0x0000	R/W
0x307C	I_OFFSET_INT_CAL_T0	温度 0 的电流失调内部校准、带符号 1.15 寄存器	0x0000	R/W
0x307D	I_OFFSET_INT_CAL_T1	温度 1 的电流失调内部校准、带符号 1.15 寄存器	0x0000	R/W
0x307E	I_OFFSET_INT_CAL_T2	温度 2 的电流失调内部校准、带符号 1.15 寄存器	0x0000	R/W
0x307F	I_OFFSET_INT_CAL_T3	温度 3 的电流失调内部校准、带符号 1.15 寄存器	0x0000	R/W
0x3080	DSP_READOUT_FILT_CFG	读出滤波器配置寄存器	0x0003	R/W
0x3081	MAF_CFG	移动平均滤波器配置寄存器	0x0003	R/W
0x3082	SDM_CFG	SDM 配置寄存器	0x0002	R/W
0x3083	DC_BUS_CORRECTION_CFG	直流母线校正配置寄存器	0x0000	R/W
0x3084	PWM_CFG0	PWM 0 配置寄存器	0x050A	R/W
0x3085	PWM_CFG1	PWM 1 配置寄存器	0x0000	R/W
0x3086	PWM_CFG2	PWM 2 配置寄存器	0x0000	R/W
0x3087	PWM_CFG3	PWM 3 配置寄存器	0x0000	R/W
0x3088	NCO_CFG0	NCO 0 配置寄存器	0x0002	R/W
0x3089	NCO_CFG1	NCO 1 配置寄存器	0x8000	R/W
0x308A	NCO_PHASE_INCR_LSB	NCO 相位增量 LSB 寄存器	0x0000	R/W
0x308B	NCO_PHASE_INCR_MSB	NCO 相位增量 MSB 寄存器	0x0000	R/W
0x308C	NCO_PHASE_INIT_LSB	NCO 初始相位 LSB 寄存器	0x0000	R/W
0x308D	NCO_PHASE_INIT_MSB	NCO 初始相位 MSB 寄存器	0x0000	R/W
0x308E	DEMOD_CFG	FRA 解调器配置寄存器	0x0000	R/W
0x308F	DEMOD_ACCUM_COUNT_LSB	解调器积分计数 LSB 寄存器	0x0000	R/W
0x3090	DEMOD_ACCUM_COUNT_MSB	解调器积分计数 MSB 寄存器	0x0000	R/W
0x3091	FAULT_CFG	故障配置寄存器	0x0001	R/W

## 存储器映射寄存器

表 15. CHANNEL\_CTRLA (CHANNEL\_REGMAP) 寄存器汇总

地址	名称	描述	复位	访问类型
0x3092	MEAS_OVER_LIMITS_CFG	电压和电流测量 ADC 原始数据超限配置寄存器	0x0000	R/W
0x3093	VMEAS_OVER_LIMITS_HIGH_THLD	电压测量 ADC 原始数据超限高阈值寄存器	0x0000	R/W
0x3094	VMEAS_OVER_LIMITS_LOW_THLD	电压测量 ADC 原始数据超限低阈值寄存器	0x0000	R/W
0x3095	IMEAS_OVER_LIMITS_HIGH_THLD	电流测量 ADC 原始数据超限高阈值寄存器	0x0000	R/W
0x3096	IMEAS_OVER_LIMITS_LOW_THLD	电流测量 ADC 原始数据超限低阈值寄存器	0x0000	R/W
0x3100	DSP_READOUT_DATA_0	读出数据, 电压数据 MSB 寄存器 (只要读取此寄存器, 就会对其余读出数据寄存器进行采样)	0x0000	R
0x3101	DSP_READOUT_DATA_1	读出数据, 电流数据 MSB 寄存器	0x0000	R
0x3102	DSP_READOUT_DATA_2	读出数据, 电压和电流数据 LSB 及标签编号寄存器	0x0000	R
0x3104	COULOMB_COUNT_0	正在执行的指令 0 的库仑积分结果寄存器 (只要读取此寄存器, 就会对 COULOMB_COUNT_1 至 COULOMB_COUNT_3 中的其余寄存器进行采样)	0x0000	R
0x3105	COULOMB_COUNT_1	正在执行的指令 1 的库仑积分结果寄存器	0x0000	R
0x3106	COULOMB_COUNT_2	正在执行的指令 2 的库仑积分结果寄存器	0x0000	R
0x3107	COULOMB_COUNT_3	正在执行的指令 3 的库仑积分结果寄存器	0x0000	R
0x3108	COULOMB_COUNT_PREV_0	上一指令 0 的库仑积分结果寄存器	0x0000	R
0x3109	COULOMB_COUNT_PREV_1	上一指令 1 的库仑积分结果寄存器	0x0000	R
0x310A	COULOMB_COUNT_PREV_2	上一指令 2 的库仑积分结果寄存器	0x0000	R
0x310B	COULOMB_COUNT_PREV_3	上一指令 3 的库仑积分结果寄存器	0x0000	R

## 存储器映射寄存器

表 15. CHANNEL\_CTRLA (CHANNEL\_REGMAP) 寄存器汇总

地址	名称	描述	复位	访问类型
0x310C	DEMODO_XV_I_RESULT_0	FRA PID 输出 + NCO 解调器同向结果 0 寄存器	0x0000	R
0x310D	DEMODO_XV_I_RESULT_1	FRA PID 输出 + NCO 解调器同向结果 1 寄存器	0x0000	R
0x310E	DEMODO_XV_I_RESULT_2	FRA PID 输出 + NCO 解调器同向结果 2 寄存器	0x0000	R
0x310F	DEMODO_XV_I_RESULT_3	FRA PID 输出 + NCO 解调器同向结果 3 寄存器	0x0000	R
0x3110	DEMODO_XV_Q_RESULT_0	FRA PID 输出 + NCO 解调器正交结果 0 寄存器	0x0000	R
0x3111	DEMODO_XV_Q_RESULT_1	FRA PID 输出 + NCO 解调器正交结果 1 寄存器	0x0000	R
0x3112	DEMODO_XV_Q_RESULT_2	FRA PID 输出 + NCO 解调器正交结果 2 寄存器	0x0000	R
0x3113	DEMODO_XV_Q_RESULT_3	FRA PID 输出 + NCO 解调器正交结果 3 寄存器	0x0000	R
0x3114	DEMODO_YI_I_RESULT_0	FRA PID 输出解调器同向结果 0 寄存器	0x0000	R
0x3115	DEMODO_YI_I_RESULT_1	FRA PID 输出解调器同向结果 1 寄存器	0x0000	R
0x3116	DEMODO_YI_I_RESULT_2	FRA PID 输出解调器同向结果 2 寄存器	0x0000	R
0x3117	DEMODO_YI_I_RESULT_3	FRA PID 输出解调器同向结果 3 寄存器	0x0000	R
0x3118	DEMODO_YI_Q_RESULT_0	FRA PID 输出解调器正交结果 0 寄存器	0x0000	R
0x3119	DEMODO_YI_Q_RESULT_1	FRA PID 输出解调器正交结果 1 寄存器	0x0000	R
0x311A	DEMODO_YI_Q_RESULT_2	FRA PID 输出解调器正交结果 2 寄存器	0x0000	R
0x311B	DEMODO_YI_Q_RESULT_3	FRA PID 输出解调器正交结果 3 寄存器	0x0000	R

主机 SPI 接口详解

SPI 概述

主机通过 SPI 端口与 ADBT1002 通信。SPI 端口支持 3 线（单个双向数据信号）和传统的 4 线接口（默认）。这些接口可通过 INTERFACE\_CONFIG 寄存器的配置来选择。

SPI\_SCK 用作串行移位时钟，由主机生成。默认时钟极性(CPOL)和时钟相位(CPHA)均为 0。SPI\_SCK 的上升沿用于锁存来自主机的数据，而下降沿锁存传输到主机的数据。最大时钟速率为 16 MHz。

SPI\_SDIO 在 4 线模式下为数据输入引脚，在 3 线模式下为双向数据引脚。

SPI\_SDO 用于 4 线模式，仅为数据输出引脚。请注意，MSB 优先是默认模式，但也可以配置 LSB 优先。SPI\_CS 是低电平有效 SPI 片选信号。趋低置位启动读操作或写操作。数据流传输也支持寄存器地址自动递增（默认）或递减。

SPI 端口的其他特性包括循环冗余校验(CRC)和地址循环，后者允许在有限范围的连续寄存器地址中进行流传输。

通信协议

所有传输都以 16 位字进行。每个事务的第一个 16 位字（指令阶段）由 15 位寄存器地址和一个 R/W 位组成。MSB R/W 位为 0 表示写操作，为 1 表示读操作。

基本读操作

指令阶段在第一个 16 位字传输中执行。R/W 位（在指令阶段它是 MSB，如图 8 所示）设置为 1 以指定读操作。其他 15 位指定寄存器地址。来自主机的下一个 16 位传输指定要执行的连续 16 位读操作的数量。对于单个 16 位寄存器读操作，该位域设置为 0 或 1。从第 33 个 SPI\_SCLK 开始读出数据。如果读操作的数量为 2 或更多，则在三个基本单字 16 位传输之后至请求的总数为止，SPI\_CS 必须置为有效。

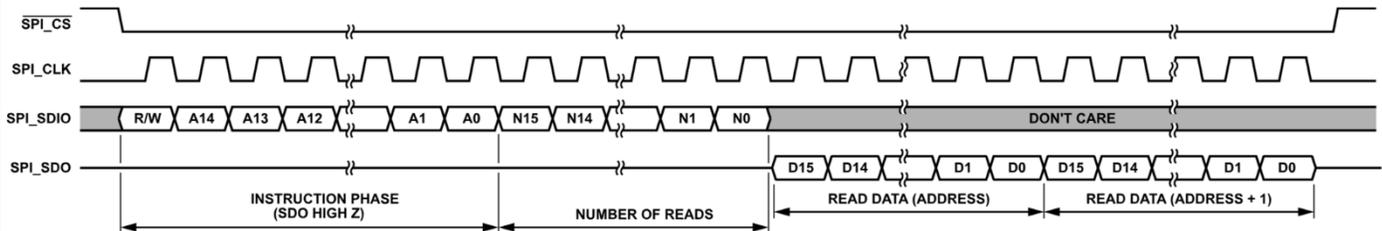


图 8. 基本 4 线读操作

主机 SPI 接口详解

基本写操作

基本写操作的时序如图 9 所示。对于写操作，指令阶段中的 R/W 位为 0。要写入的 16 位数据紧随 16

位指令阶段之后。让  $\overline{\text{SPI\_CS}}$  保持置位，同时输入更多 16 位字，可以写入更多数据。数据传输到顺序寄存器地址。

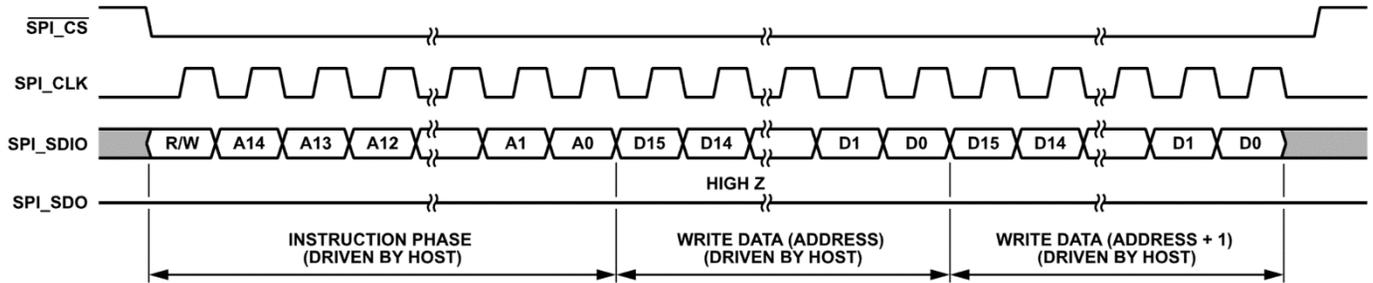


图9. 基本 4 线写操作

## 应用信息

### 校准

#### 便利系统校准

ADBT1002 提供了便利系统校准的手段，各 ADC 通道都有寄存器来存储失调和增益比例校准数据。用户可以提供外部激励，测量结果，并计算多个温度点的必要失调和增益比例值。然后，用户可将这些值写入 ADC 校准寄存器。这些值便可用来补偿特定温度范围内的系统误差。

### 诊断

#### 支持直流内阻(DCIR)测量

通过精确测量电池电压来间接支持 DCIR 测量。外部控制器必须存储数据样本，监视电流阶跃变化，

确定 RC 时间常数是否完成，并估算电压差。

$$DCIR = \Delta V / \Delta I$$

在此测量期间，可以提高输出数据速率以捕获瞬态响应。

### 操作应用案例

#### 四通道独立应用案例

对于四通道独立应用案例，每个通道单独测量电池电压和电流，并能对电压和电流进行独立控制。此外，每个通道都有独立可编程的电压和电流设定值。

应用信息

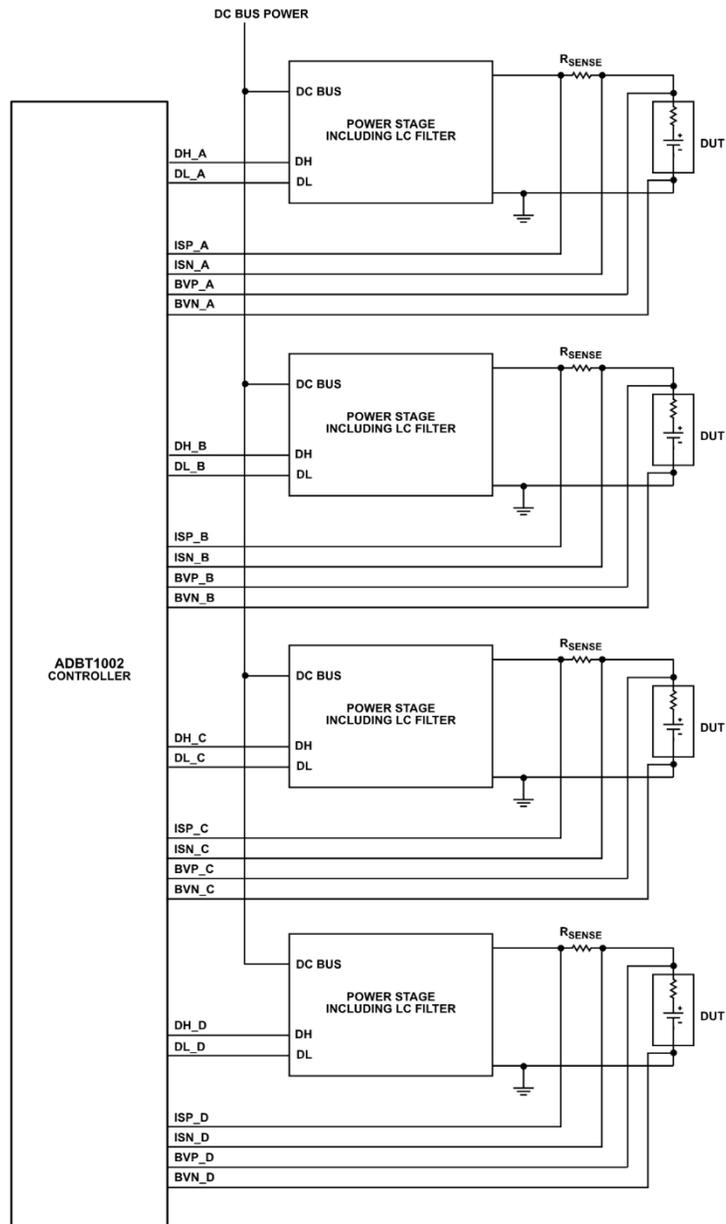


图 10. 四通道独立应用案例

应用信息

两个并联、两个独立通道应用案例

在此应用案例中，四个通道的两个并联运行以提高电流容量，另两个通道配置为独立通道。每个通道单独测量电池电压和电流，并能对电压和电流进行独立控制。两个独立通道中的每一个都有独立可编

程的电压和电流设定值。然而，对于两个并联通道，主通道（通道 A）使用电压和电流设定值，而从通道仅使用电流设定值。电流设定值自动从主通道电流测量结果提供，以便其正确跟踪。主机必须将主通道电流设定值设为总需求电流的一半。

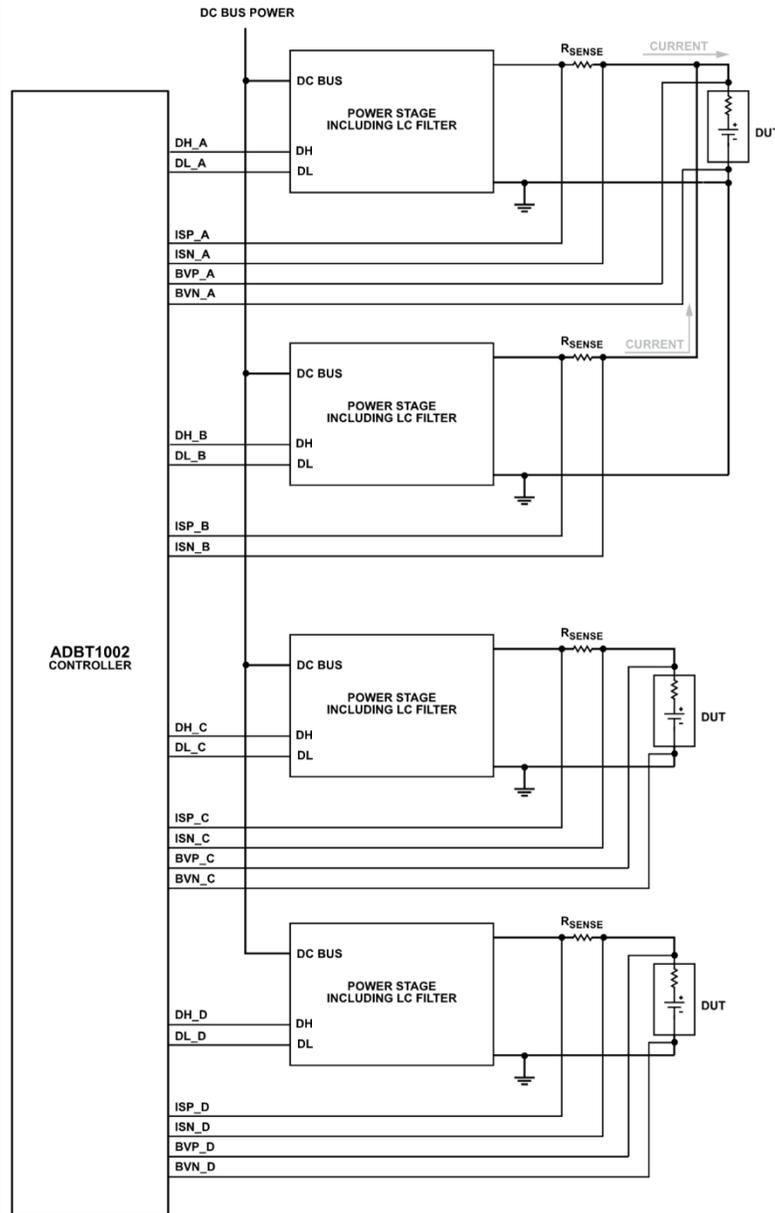


图 11. 两个并联、两个独立通道应用案例

应用信息

四通道并联应用案例

此应用案例的所有四个通道都并联运行以提高电流量。每个通道单独测量电池电压和电流，并能对电压和电流进行独立控制。主通道（通道 A）使用

电压和电流设定值，而从通道仅使用电流设定值。电流设定值自动从主通道电流测量结果提供，以便其正确跟踪。主机必须将主通道电流设定值设为总需求电流的 1/4。

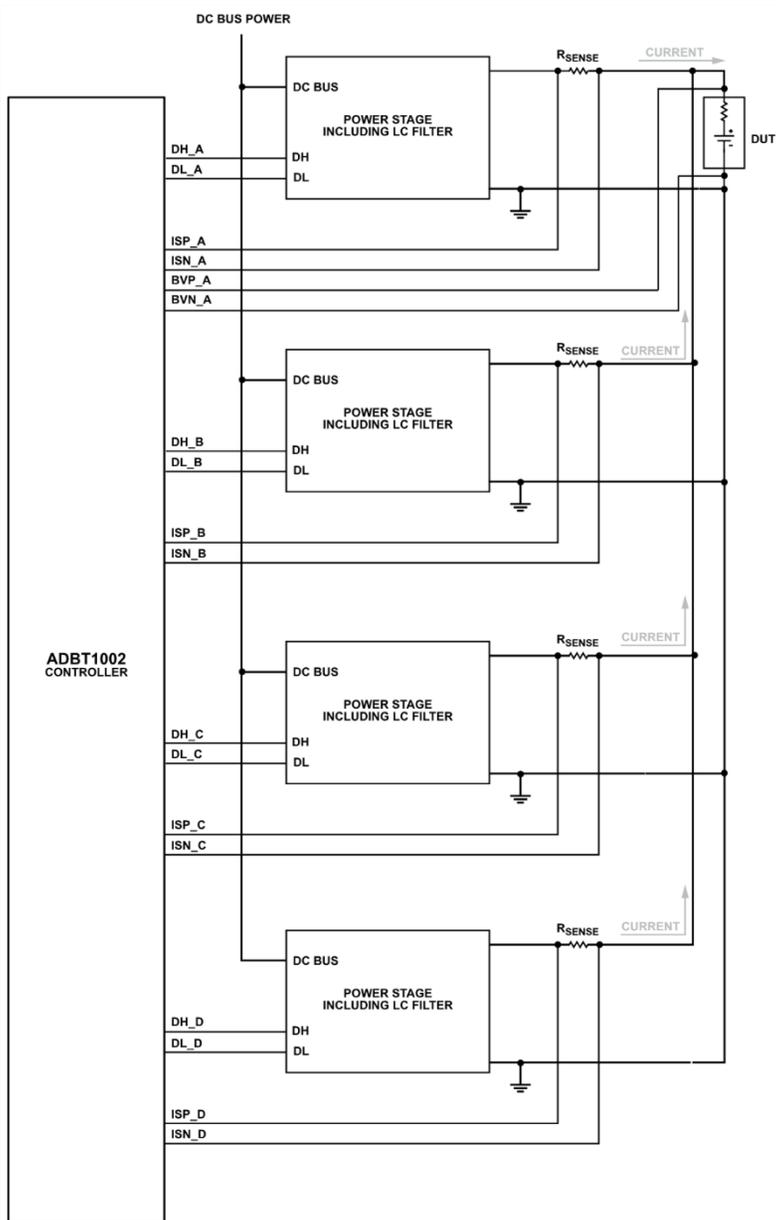


图 12. 四通道并联应用案例

210

应用信息

预充电操作

将电池连接到功率级时，当电荷从电池流到未充电的输出电容（图 13 中的 C1）时，存在大电流浪涌的可能性。ADBT1002 支持测量电池电压（BVN\_x 和 BVP\_x）及功率级输出电容电压（CVS\_x）。利用这些测量结果，用户可以将 C1 预充电到电池电位，

再闭合隔离开关（Q3 和 Q4）。这样，当将电池连接到功率级时，几乎没有电流流过。

可以配置 GPIOx 引脚来控制隔离开关。

电池和输出电容电压的测量结果可通过 SPI 端口和一组存储器映射寄存器获得。使用 VSET 位控制输出电容电压。

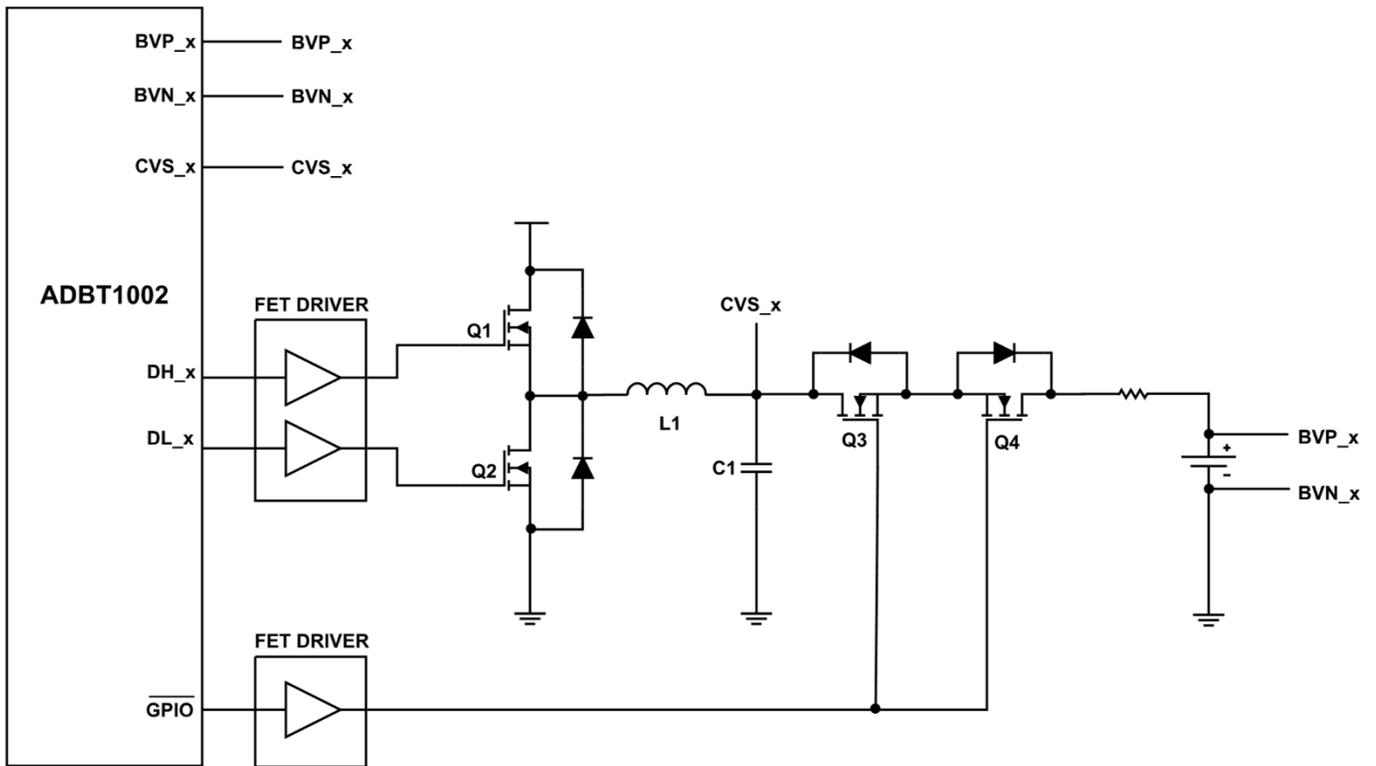


图 13. 预充电功能框图

013

外形尺寸

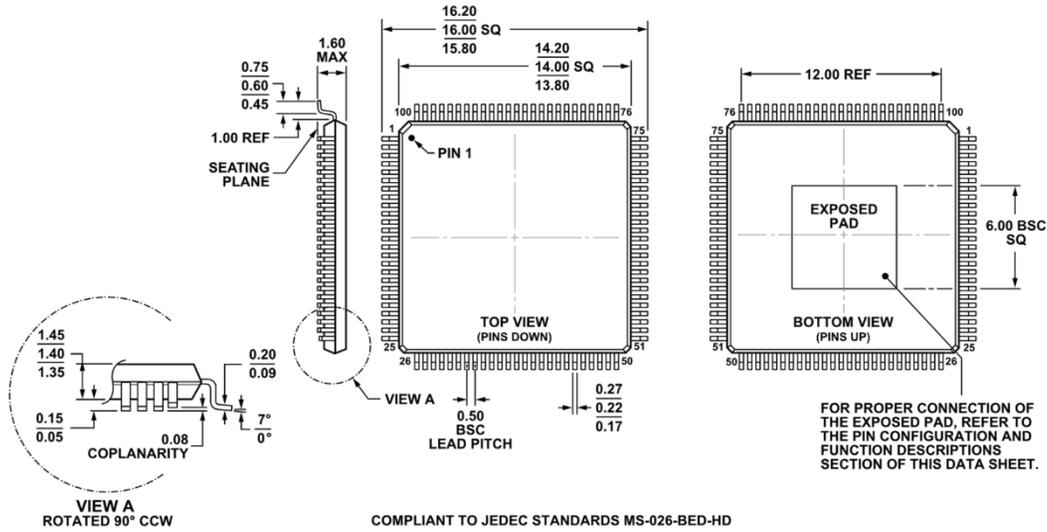


图 14.100 100 引脚薄型四方扁平封装[LQFP], 裸露焊盘  
主体 14 mm × 14 mm  
(SW-100-2)  
尺寸单位: mm

订购指南

型号 <sup>1</sup>	温度范围	封装描述	封装选项
ADBT1002BSWZ	0°C 至 85°C	100 引脚薄型四方扁平封装[LQFP]	SW-100-2
ADBT1002BSWZ-RL	0°C 至 85°C	100 引脚薄型四方扁平封装[LQFP]	SW-100-2

<sup>1</sup> Z = 符合 RoHS 标准的器件。