

特性

- ◆5V 单电源供电
- ◆输出方式：SPI 或模拟差分输出
- ◆模拟输出范围：-4V ~ +4V
- ◆内置高精度 Delta-Sigma ADC，实现 24bits 角速率转换和 14bits 温度转换
- ◆内部集成 OTP，用于调试、校准和配置系统参数（CV 电容阵列参数、CV 增益、高压共模及其增益、PI 控制参数、温度补偿参数等）
- ◆驱动环路采用自激电路启动，启动完成后切换到 PLL 闭环控制模式，避免 PLL 闭环失锁的情况
- ◆适配表头谐振频率范围 8~20KHz，PLL 锁相精度为 0.001° ，PLL 带宽为 1KHz
- ◆内部集成移相调节电路，用于生成准确的解调时钟
- ◆检测开环，内置正补偿电路，包括电荷注入法和刚度补偿法
- ◆开放的前端放大器检测结构，可适用于各种表头
- ◆检测端检测电容适配范围 $0.5\text{pF} \sim 8.45\text{pF}$ ，驱动端检测电容适配范围 $80\text{fF} \sim 4.7\text{p}$ ，支持表头基础电容、失配电容自校准
- ◆新颖的 CV 检测电路，噪声低，输出电压平滑、相移小；
- ◆内部集成电荷泵及高压驱动放大器，可用于陀螺仪系统反馈控制
- ◆可配置高压驱动放大器共模电压，可配置高压驱动放大器增益，实现驱动环路增益配置
- ◆具备陀螺仪计表头自检功能
- ◆内置自检测和报错电路
- ◆内置基准和温度传感器电路
- ◆内置三阶温度补偿系统（数字）
- ◆工作温度范围：-55℃ 至 125℃
- ◆工作电流消耗：18mA

ASIC 原理图

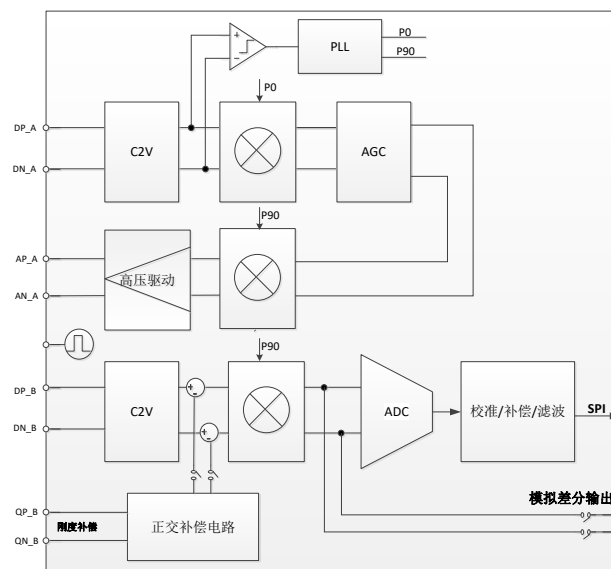


图 1. ASIC 原理图

概述

ZW-GY113-41BL 为一款电容式陀螺仪接口电路芯片。本芯片驱动环路采用自激方式启动，启动完成后再次切换到 PLL 闭环控制模式，避免 PLL 闭环失锁的情况。检测采用开环工作模式，内部集成正交补偿环路。输出信号有模拟差分输出和数字输出两种输出形式；开放的前端检测放大器结构，可通过搭建可变电容器桥（内部已集成电容阵列），适配各种陀螺仪表头；5V 单电源供电；内部集成 2.5V 电压基准、4.5V 电压基准、电荷泵；具备高压输出，可用于陀螺仪驱动闭环系统反馈控制；内部集成温度传感器；内部集成 24bits 陀螺仪信号 Delta-Sigma ADC 和 14 位温度检测 ADC；片内集成三阶温补系统；内部集成一次可编程非易失性存储器（OTP），用于调试、校准和配置电路系统参数；具备陀螺仪表头自检功能和报错功能。

四川知微传感技术有限公司提供的信息被认为是准确和可靠的。四川知微传感技术有限公司对本说明书的使用不承担任何责任，并对由本说明书使用造成的任何专利权侵犯或对第三方权益的侵犯也不具有责任。规格书变化恕不另行通知。在使用任何公布的信息或订购产品之前，建议客户应获取该产品说明书的最新版本。

©2021 四川知微传感技术有限公司版权所有

性能指标

除非另有说明，@ 25 °C，AVDD = 5 V

参数	条件/注释	最小值	典型值	最大值	单位
输出（模拟）					
输出范围		-4		+4	V
非线性度			0.03	0.05	% FS
滤波器频率	@ -3dB		1		KHz
输出（数字）					
ADC 噪声	0.1~100Hz		-120		dBV
ADC 输入电压范围				±4.0	V
非线性度				0.05	% FS
数据速率		7.63		31.25K	SPS
ADC 刻度因子			1864135		LSB/V
检测 CV					
电容灵敏度			22.5		V/pF
匹配电容范围		0.5		8.45	pF
等效输入噪声	基础/寄生电容：4pF/14pF		13		zF/√Hz
驱动 CV					
电容灵敏度			22.5		V/pF
匹配电容范围		0.5		8.45	pF
输出电压噪声	基础/寄生电容：4pF/14pF		25		zF/√Hz
2.5V 基准电压					
输出参考电压		2.475	2.5	2.525	V
温度系数	温度范围：-55°C ~ 125 °C		4	20	ppm/°C
短路电流			50		μA
输出电压噪声	0.1 Hz ~ 10Hz		1.2		μVrms
温度传感器					
输出电压		2.44	2.47	2.50	V
温度刻度因子（模拟）			8.1		mV/°C
温度刻度因子（数字）			72		LSB/°C
非线性度	0.1 Hz ~ 1 kHz		2		%
输出电压噪声			16		μVrms

接续前页表格

参数	条件/注释	最小值	典型值	最大值	单位
驱动高压输出					
输出差模电压噪声	@16KHz、7.5V 共模		0.173		$\mu\text{V}/\sqrt{\text{Hz}}$
输出共模电压噪声	@16KHz、7.5V 共模		0.145		$\mu\text{V}/\sqrt{\text{Hz}}$
增益调节范围	配置精度: 0.125/LSB	1		4.875	
共模调节范围		4		10	V
电源					
电源电压		4.75	5	5.25	V
静态电流			18		mA

绝对最大额定值

最大高压电源电压： 6 V
最大工作温度范围： -55 ℃ ~ 125 ℃
最大存储温度范围： -60 ℃ ~ 150 ℃

注意：超过以上数值的工作环境将对芯片造成永久的损害。以上数值的工作环境仅为极限条件。长时间工作在以上条件将有可能降低芯片的可靠性。

ESD 警告



ESD【静电放电】敏感器件

带电器件和电路板可能会在没有察觉的情况下放电。尽管本产品具有专用保护电路，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损失。

引脚配置和功能描述

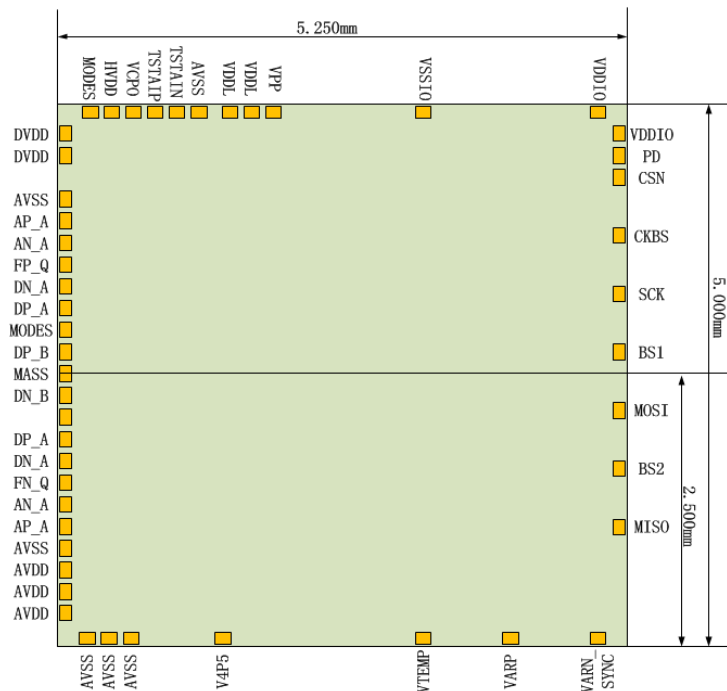


图 2. 陀螺仪电路引脚图【裸芯片】

表 1. 芯片引脚坐标

编号	名称	X 轴 (um)	y 轴 (um)
1	HVDD	517.29	4914
2	VCPO	732.65	4914
3	TSTAIP	936.65	4914
4	TSTAIN	1136.65	4914
5	AVSS	1336.65	4914
6	VDDL	1613.13	4914
7	VDDL	1813.13	4914
8	VPP	2013.13	4914
9	VSSIO	3586.75	4914
10	VDDIO	4651.99	4914
11	VDDIO	5164	4621.24
12	PD	5164	4421.24
13	CSN	5164	4171.24
14	CKBS	5164	3657.04
15	SCK	5164	3142.85
16	BS1	5164	2568.1
17	MOSI	5164	1993.35
18	BS2	5164	1551.83
19	MISO	5164	1110.3
20	VARN_SYNC	4846.32	86

编号	名称	X 轴 (um)	y 轴 (um)
25	AVSS	622. 86	86
26	AVSS	422. 86	86
27	AVDD	86	284
28	AVDD	86	484
29	AVDD	86	684
30	AVSS	86	884
31	AP_A	86	1088
32	AN_A	86	1292
33	FN_Q	86	1496
34	DN_A	86	1700
35	DP_A	86	1900
36	DN_B	86	2300
37	MASS	86	2500
38	DP_B	86	2700
39	MODES	86	2900
40	DP_A	86	3100
41	DN_A	86	3300
42	FP_Q	86	3504
43	AN_A	86	3708
44	AP_A	86	3912

接续前表

编号	名称	X 轴 (um)	y 轴 (um)
21	VARP	4206.93	86
22	VTEMP	3529.67	86
23	V4P5	1562.25	86
24	AVSS	822.86	86

编号	名称	X 轴 (um)	y 轴 (um)
45	AVSS	86	4116
46	DVDD	86	4492.37
47	DVDD	86	4696.37

表 2. 引脚功能描述

引脚名称	输入/输出	说明
DVDD	数字电源输入	5V 电源输入
AVSS	模拟地	模拟电源地
AP_A	高压模拟输出	表头驱动正
AN_A	高压模拟输出	表头驱动负
FP_Q	高压模拟输出	刚度校正正
DN_A	模拟输出	表头驱动检测负
DP_A	模拟输出	表头驱动检测正
MODES	模拟输入	模拟/数字选择, 低: 数字输出 (默认), 高(VDDIO 电平): 模拟输出
DP_B	模拟输出	表头检测检测正
MASS	模拟输出	表头中间电极高频载荷
DN_B	模拟输出	表头检测检测负
FN_Q	高压模拟输出	刚度校正负
AVDD	模拟电源输入	5V 电源
V4P5	模拟输出	4.5V 参考电压, 需挂 0.1uF 陶瓷贴片电容
VTEMP	模拟输出	温度传感器输出
VARP	模拟输出	陀螺仪差分输出正/测试模式时测试信号输出端
VARN_SYNC	模拟输出/输入	陀螺仪差分输出负/数字输出时为同步信号输入端/测试模式时测试信号输出端
MISO	数字输出	芯片数字输出
BS2	数字输出	AD 测试用 bitstream 输出
MOSI	数字输入	SPI 从机数据输入, 主机数据输出端
BS1	数字输出	AD 测试用 bitstream 输出
SCK	数字时钟	SPI 从机时钟输入端, 缺省内部下拉
CKBS	数字输出	AD 测试用 AD 采样时钟输出
CSN	数字输入	SPI 从机片选信号输入端
PD	模拟输入	系统停止使能, 低: 工作 (默认)、高: 停止工作
VDDIO	IO 电源输入	IO 电源输入
VSSIO	IO 地输入	IO 电源地
VPP	模拟输入	OTP 编程时输入电压, 正常工作时 NC
VDDL	LDO 低压输出	内部 LDO 2.5V 外接 100nF 电容端, 供给内部数字工作
TSTAIN	模拟输入	测试用信号输入端负
TSTAIP	模拟输入	测试用信号输入端正
VCPO	高压输出	电荷泵输出, 外接 100nF 电容
HVDD	高压输入	内部高压电压电源输出

寄存器说明

由于该 ASIC 集成了各种可调功能，因此在与表头匹配时，需要对相应的寄存器进行软写或者硬写操作。该芯片推荐使用 Labview 软件进行参数匹配，图 3 是我司推荐的界面，相关寄存器说明见表 3、4、5、6。建议调试硬写操作见 附 A。



图 3 Labview 烧写软件界面

表 3 ZW-GY113-01BL 寄存器说明（参数配置）

寄存器名称	位宽	功能说明	注释
A_CVCINT	2	驱动 CV 控制电容	8~32pF
A_CVCREF	2	驱动 CV 反馈电容	0: 100fF; 1: 150fF; 2: 200fF; 3: 300fF
A_AMPGA	5	驱动环路可调增益放大器增益选择	1~4.875[倍]
A_PHTRIM	5	驱动环路可调增益放大器相移调节	填入具体相位补偿值即可，最大 1° 。
A_PIRI	4	驱动自动增益控制器（PIC）输入电阻选择	100~1600kohm
A_PIRF	3	驱动自动增益控制器（PIC）反馈电阻选择	1~8Mohm
A_PLT	1	驱动环路极性选择	0: 正, 1: 负
A_HVCM	6	驱动环路高压驱动器共模电压选择	4~10V
A_HVGA	5	驱动环路高压驱动器差模增益选择	1~4.875[倍]
RG_PGACFSL	2	可调增益放大器滤波电容选择	-
B_CVCINT	2	驱动 CV 控制电容	8~32pF

接续前页表格

寄存器名称	位宽	功能说明	注释
B_CVCREF	2	检测 CV 反馈电容	0: 100fF; 1: 150fF; 2: 200fF; 3: 300fF
B_AMPGA	5	检测环路可调增益放大器增益选择	1~4.875[倍]
B_PHTRIM		检测环路可调增益放大器相移调节	填入具体相位补偿值即可，最大 1°。
B_RNGSL	3	检测输出增益选择	填入预期的下拉选项
B_PLT	1	检测输出极性选择	0: 正, 1: 负
QE_VCLTRISL	1	正交闭环 VGA 增益选择	-
QE_PIRI	2	正交控制器 PIC 输入电阻	-
QE_PILPT	1	正交控制器(PIC)极性选择	0: 正, 1: 负
QE_ENCJCOMP	1	电荷注入正交补偿使能	高使能
QE_CJCOMP	8	电荷注入正交补偿配置	-
HVSL	6	电荷泵输出电压选择	8~20 [V]
VCOFCSL	3	锁相环输入适配频率配置	8-22[kHz]
VCOF0SL	2	VCO 频率精调	-

表 4 ZW-GY113-01BL 寄存器说明（数字校正）

寄存器名称	位宽	功能说明	注释
SF4	30	刻度因子常数项	参数计算说明见附 B。
SF3	30	刻度因子一阶温度系数	
SF2	30	刻度因子二阶温度系数	
SF1	30	刻度因子三阶温度系数	
BISA4	30	零偏常数项	
BISA3	30	零偏一阶温度系数	
BISA2	30	零偏二阶温度系数	
BISA1	30	零偏三阶温度系数	
GAIN	15	数字放大倍数	

表 5 ZW-GY113-01BL 寄存器说明（临时寄存器）

临时寄存器名称	位宽	功能说明	注释
TST_EN	1		1, TST_EN 为 1 时，选择需要监测的电路，可从 VARP、VARN、VTEMP 引脚分别监测驱动、检测及 PLL 相关波形。
TST_APGA	1	驱动环路可调增益放大器测试输出选择	
TST_PLL	1	锁相环测试输出选择	
TST_APIC	3	PIC 测试选择（客户测试填 4）	
TST_BPGA	1	检测可调增益放大器测试输出选择	2, QEDMOD_EN 为 1 时，切换为正交测试模式，即输出为正交信号。
QEDMOD_EN	1	正交解调使能	
TST_CKN90	1	锁相环移相 90 度时钟测试输出	
TST_CKPO	1	锁相环锁相时钟测试输出	

表 6 ZW-GY113-01BL 寄存器说明（数据采集配置）

寄存器名称	位宽	功能	说明
READONLY	1	数据输出格式控制	0: 数据输出顺序依次为 DRDY 信号, 随后为 24bit 加速度信号等 (默认); 1: 数据输出顺序依次为 24bit 加速度信号, 随后为 DRDY 信号等
IIRBW	3	IIR 滤波器带宽选择	0: 直通; 1:100Hz; 2:150Hz; 3:200Hz; 4:250Hz; 5:300Hz; 6:350Hz; 7:400Hz。默认直通。
WAVG	3	平均滤波器配置	配置平均滤波器平均点数, 平均点数为 2^{WAVG} , WAVG=0 ~ 6, 默认 WAVG=0。
COMPSL	1	—	—
SYNC_EN	1	SYNC 使能	0:Normal 模式; 1: SYNC 模式。
SOFT_COM_EN	1	—	—

SPI 数据采集

■ SPI 协议

ZW-GY113-01BL 采用标准 4 线 SPI 接进行通信，从模式运行。CSN 设置为低，初始化通信，MOSI 和 MISO 数据变化必须同步于 SCK 下降沿，主从采样必须同步于 SCK 的上升沿。支持最大时钟速率 20MHz。

ZW-GY113-01BL 内部寄存器读写格式如图 4、5 所示。第一 Byte 的最高位为读写标志位，‘1’表示接下来为读操作，‘0’表示接下来为写操作，第一 Byte 的低 7 位为地址位，对应表 2 寄存器表。

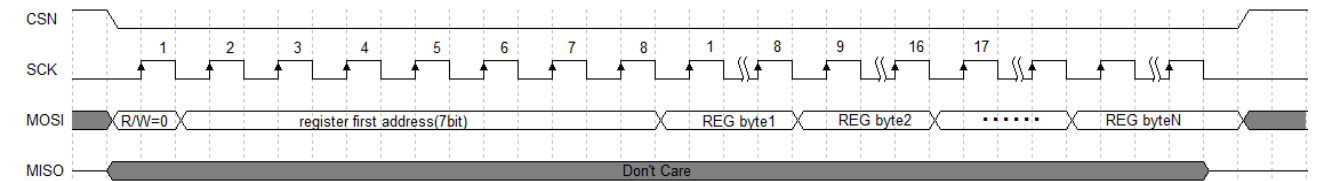


图 4 寄存器配置时序

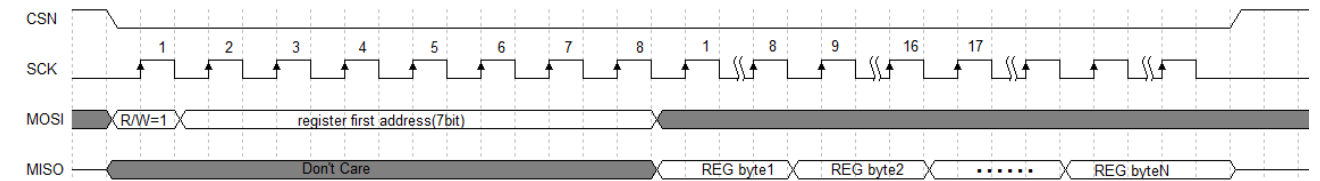


图 5 寄存器读取时序

■ 数据采集

ZW-GY113-01BL 默认数据格式为：DRDY(1bit)+AR(24bits)+ERR(1bit)+TEMP(14bits)+FLG(8bits)。当寄存器 READ_DATAONLY(REGL5E[7])配置为 1 时，只输出 24bits 角速率数据，数据格式为：AR(24bits)。

采集数据时，上位机要先发送 0XD1 命令，再采集数据。有两种数据采集模式：Normal 模式和 SYNC 模式，如图 6、7 所示。

芯片默认数据采集模式时 Normal 模式。图 6 为 Normal 采集数据时序。当内部数据更新时，DRDY 置为‘1’，当数据被 SPI 采集后，DRDY 置为‘0’直至新的数据被更新，DRDY 再次被置为‘1’。DRDY 在数据中的具体位置，受寄存器 READ_DATAONLY 控制，当 READ_DATAONLY=1 时，DRDY 在数据的第 25 位，默认 READ_DATAONLY=0 时，DRDY 在数据的第 1 位。

随机采集模式时，为避免数据丢失，建议 SPI 的采集速率略高于 ZW-GY113-01BL 配置的数据输出速率，可通过 DRDY 有效的去掉冗余数据。

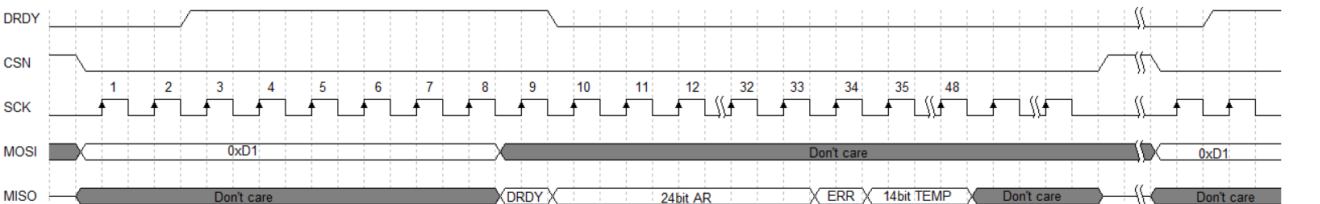


图 6 随机采集数据时序

配置寄存器 SYNC_EN=1，芯片进入 SYNC 模式。图 7 为 SYNC 模式采集数据时序，采用下降沿同步数据。SYNC 引脚下降沿锁定数据，DRDY 置为‘1’，当数据被 SPI 采集后，DRDY 置为‘0’直至新的同步沿到来，数据再次更新，DRDY 再次置为‘1’。

SYNC 模式采集模式时，可通过加载速率匹配的同步信号与 SPI 采集信号，以避免数据的丢失或冗余。

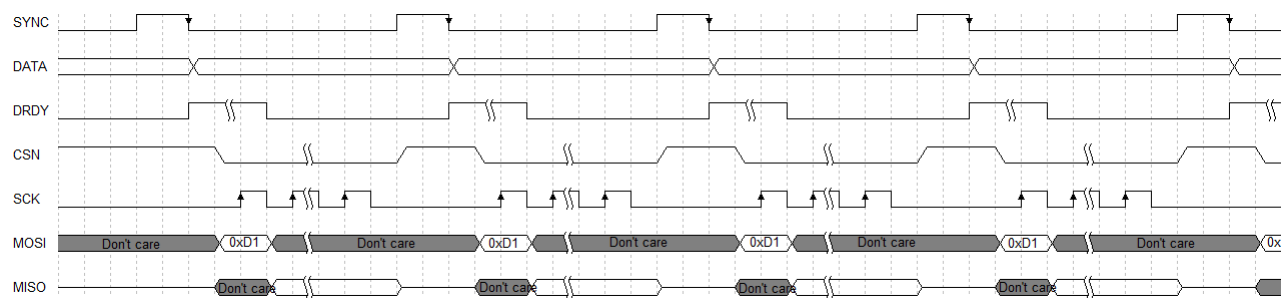


图 7 外同步采集数据时序

■ 低通滤波器

ZW-GY113-01BL 集成低通滤波器，低通滤波器由 3 阶 butterworth 滤波器和平均滤波器串联组成。可以通过配置寄存器设置低通滤波器带宽，具体配置关系见表 6 ZW-GY113-01BL 寄存器说明（数据采集配置）。

附 A 软、硬写操作步骤

A.1 软写调试

- (1) 芯片上电，电流 18mA 左右，将进入写模式，运行 labview 程序，点击图 4 界面中的【软写】、【自校准 CB】、【自校准 CCAN】、【启动 START】即可将界面中的数据软写至芯片。
- (2) 根据需求，对照第表 3、4 中的寄存器说明，调节相应的参数。
- (3) 见表 5 所述，可通过写临时寄存器监测内部信号。

注：软写模式下，断电后写入的数据就没有了。要在软写模式下测试，写入后需要一直保持上电状态，但烧写器可以去掉。

A.2 硬写

若想将软写调试好的参数固化在芯片里，需要对芯片进行硬写操作（写 OTP）。操作步骤如下：

- (1) 运行 labview 程序，点击图 4 界面中的【硬写】，即可完成硬写操作。
- (2) 点击硬写后可点击【读取】，检测是否写入正确的值。也可不进行读取。
- (3) 断开 VPP 接的 7.7V 电压，重新上电后测试芯片输出，硬写过程完成。

注：

- (1) ※ 软写（可反复擦除寄存器）时，进入软写测试模式。
- (2) ※ 硬写（烧写 OTP，参数固化）时，需要给 VPP 输入 7.7V 电压，进行硬写模式。
- (3) ※ 工作模式下，MODES 拉高到 5V，可进入模拟输出模式；拉低至低，可进入数字输出模式。
- (4) ※ 注意硬写前一定要点击【自校准使能】。

附 B 温度补偿计算说明

ZW-GY113-01BL 3 阶温度补偿参数计算如下所述:

将整器件置于温箱, 采用温度循环或者定点方式测试零偏、刻度因子与温度的关系。零偏数据记为 K0 (24bit 有符号数), 温度记为 TEMP (14bit 有符号数), 刻度因子记为 K1 (24bit 有符号数)。将上述三组数据保存为正负十进制数, 并对其进行扩位运算:

$$K0_30bit = K0 * 2^6;$$

$$K1_30bit = K1 * 2^6, \text{ 找出 } 25^{\circ}\text{C} \text{ (14bit 温度输出为 0) 时的刻度因子 } K1_25;$$

$$Temp_20bit = TEMP * 2^6;$$

以上数据中零偏、刻度因子的数据与温度点一一对应, 按照以下公式, 进行 3 阶拟合, 并计算出补偿参数:

$$p1 = \text{polyfit}(Temp_20bit, K0_30bit, 3);$$

$$p2 = \text{polyfit}(Temp_20bit, K1_25/K1_30bit, 3);$$

$$BIAS1 = \text{dec2hex}(\text{round}(p1(1) * 2^{59}));$$

$$BIAS2 = \text{dec2hex}(\text{round}(p1(2) * 2^{38}));$$

$$BIAS3 = \text{dec2hex}(\text{round}(p1(3) * 2^{19}));$$

$$BIAS4 = \text{dec2hex}(\text{round}(p1(4)));$$

$$SF1 = \text{dec2hex}(\text{round}(p2(1) * 2^{85}));$$

$$SF2 = \text{dec2hex}(\text{round}(p2(2) * 2^{66}));$$

$$SF3 = \text{dec2hex}(\text{round}(p2(3) * 2^{47}));$$

$$SF4 = \text{dec2hex}(\text{round}(p2(4) * 2^{28}));$$

修订记录

修订	日期	说明
V0.01	2020年9月	初始版本
V0.02	2020年11月	修改调试软件说明
V1.0	2021年2月	增加原理图