



SENASIC
臻捷

版权所有 © 2023 南京英锐创电子科技有限公司

SNH101

Temperature and Humidity Sensor

SNH101 Datasheet

文档版本: Version 1.2

发布日期: 2023-09-11

版权所有 © 2023 南京英锐创电子科技有限公司，保留一切权利。

非经本公司书面许可，任何单位和个人不得擅自摘抄、复制本文档内容的部分或全部，并不得以任何形式传播。

咨询信息

有关技术、交货条件和价格的进一步信息，请拨打全国咨询热线：[021-5061-0206](tel:021-5061-0206)，或邮件获取相关支持，技术支持邮箱：info@senasic.com。

相关申明

◆SENASIC 捷及英锐创的其他商标均为南京英锐创电子科技有限公司（原名宁波臻捷电子科技有限公司，简称 SENASIC）所有。

您购买的产品、服务或特性等应受 SENASIC 商业合同和条款的约束，本文档中描述的全部或部分产品、服务或特性可能不在您的购买或使用范围之内。除非合同另有约定，SENASIC 对本文档内容不做任何明示或默示的声明或保证。

由于产品版本升级或其他原因，本文档内容会不定期进行更新。除非另有约定，本文档仅作为使用指导，本文档中的所有陈述、信息和建议不构成任何明示或暗示的担保。

目录

1	产品介绍	7
2	管脚描述	8
2.1	管脚配置.....	8
2.2	管脚定义.....	8
3	电气特性	9
3.1	绝对最大额定值.....	9
3.2	电气性能参数.....	9
4	电路描述	11
4.1	电容测量方法.....	11
4.2	电容过采样率.....	11
4.3	温度测量.....	12
4.4	温度测量过采样率.....	12
4.5	ADC 时钟频率.....	13
4.6	上电复位电路.....	13
4.7	基准电压.....	13
4.8	时钟振荡器.....	13
4.9	电源稳压电路.....	14
5	功能描述	15
5.1	系统框图.....	15
5.2	上电初始化.....	15
5.3	工作模式.....	15
5.4	测量流程.....	19
5.5	IIR滤波器.....	19
6	控制寄存器	21
7	I2C 接口	23
7.1	I2C 设备地址.....	23
7.2	I2C 操作.....	23
7.3	I2C 时序.....	24
7.4	状态字.....	25
7.5	控制指令.....	25
8	传感器校准	31
9	OTP 存储器	32
10	修订记录	34

表格清单

表 1	管脚定义.....	8
表 2	绝对最大额定值.....	9
表 3	电气性能参数.....	9
表 4	电容量程 CAP_RANGE[1:0].....	11
表 5	电容过采样率.....	12
表 6	AFE_CFG_REG.OSR_T (二进制).....	12
表 7	SAMPLE_FREQ[1:0] (二进制).....	13
表 8	Vref_trim[6:0].....	13
表 9	Osc_Trim[12:8].....	13
表 10	tcycle 配置说明.....	18
表 11	TM_RATE 的配置说明.....	18
表 12	TM_RATE 的配置说明.....	19
表 13	SYS_CFG_REG 寄存器.....	21
表 14	CCP_CCN_REG 寄存器.....	22
表 15	AFE_CFG_REG 寄存器.....	22
表 16	I2C 时序说明.....	24
表 17	控制指令集.....	25
表 18	读 OTP 指令 (ROTP).....	26
表 19	写 OTP 指令 (WOTP).....	26
表 20	写 CRC 指令 (WCRC).....	27
表 21	START_NOR.....	27
表 22	START_CMD.....	27
表 23	START_CYC.....	27
表 24	START_PWMOUT.....	27
表 25	SOFT_RESET.....	27
表 26	CFGAFE.....	28
表 27	CFGSYS.....	28
表 28	CFGCC.....	28
表 29	GETCT.....	28
表 30	GETRAWC.....	29
表 31	GETRAWT.....	29
表 32	HEATERON.....	29
表 33	HEATEROFF.....	29
表 34	读 OTP 对应的寄存器指令 (ROTPREG).....	30
表 35	写 OTP 对应的寄存器指令 (WOTPREG).....	30

表 36	OTP 存储器.....	32
表 37	修订记录.....	34

插图清单

图 1	管脚配置.....	8
图 2	系统框图.....	15
图 3	工作模式切换图.....	16
图 4	NOR模式下测量时序.....	17
图 5	CYC 模式下测量时序.....	17
图 6	I2C 操作.....	23
图 7	I2C Write Data.....	23
图 8	I2C Read Data.....	24
图 9	I2C 时序.....	24

1 产品介绍

产品概述

SNH101 是一款针对电容式传感器的低功耗、高精度信号处理和控制芯片。芯片支持数字补偿功能，对电容传感器的非线性、灵敏度温漂、零点温漂同时进行校准和补偿计算，补偿算法的系数由片上集成的可编程存储器 (OTP) 保存。芯片支持高达 150°C 的宽工作温度范围，可应用于恶劣的汽车环境。

产品特性

- 电源电压：
 - VDD: 2.2V ~ 5.5V
 - VPP: 7.0V ~ 7.2V (仅写 OTP)
- 工作温度: -40°C ~ +150°C
- 平均电流: ~10uA@1Hz ODR
- 支持单电容、差分电容和全桥电容
- 分辨率
 - 电容分辨率: 2.86aF
 - 有效分辨率: 20bit
 - 内置温度传感器分辨率: 0.003°C, 校准后精度: ±0.5°C
- 电容测量频率为: 4.6Hz~500Hz
- 电容测量范围
 - 差分电容: ±1.5pF (扩展后 ±4.5pF)
 - 共模电容: 最高 18pF (扩展后 54pF)
- ESD HBM: ±4000V
- OTP: 64Byte, 最多支持两次校准
- 集成温度和湿度补偿
- 通讯方式: I2C/PWM
- 支持多种工作模式: NOR / CYC / CMD / PWMOUT 模式
- 集成 IIR 滤波器
- 符合 AEC-Q100 Grade 0 标准

应用范围

- 气压计
- 温湿度计
- 位置检测
- 液位计
- 各种电容传感器

2 管脚描述

2.1 管脚配置

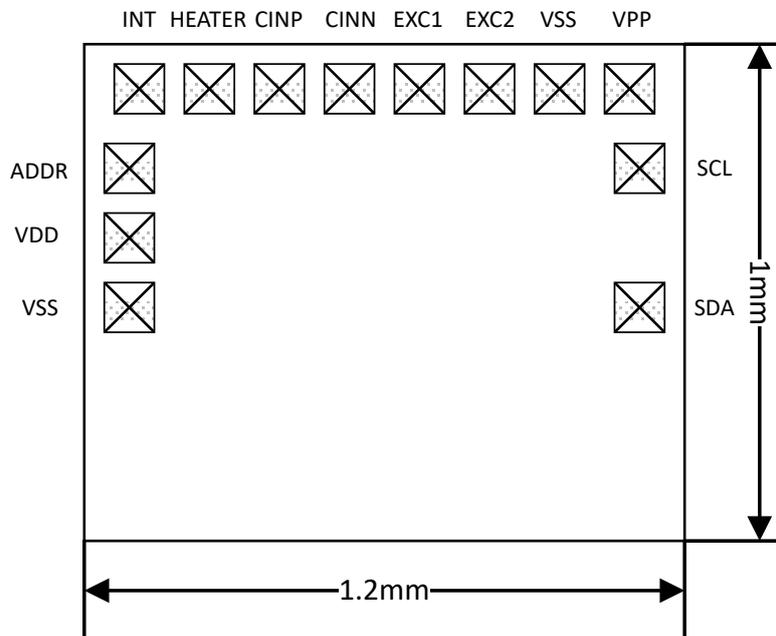


Figure 2-1 管脚配置

2.2 管脚定义

Table 2-1 管脚定义

管脚编号	管脚名称	管脚类型	方向	坐标X (um)	坐标Y (um)	功能说明
1	ADDR	数字	IN	52.06	897.53	片选信号, 输入高阻
2	VDD	电源	IN	59.94	677.06	芯片电源电压
3	VSS	电源	VSS	59.94	564.52	芯片地电压
4	SDA/PWM	数字	INOUT	1140.99	707.25	I2C 接口数据输入输出/PWM 接口数据输出
5	SCL/PWM	数字	INOUT	1140.99	796.25	I2C 接口始终输入/PWM 接口数据输出
6	VPP	电源	IN	1024.66	955.42	OTP 编程电压
7	VSS	电源	VSS	903.28	961.45	芯片地电压
8	EXC2	模拟	OUT	766.51	969.33	电容正激励信号输出
9	EXC1	模拟	OUT	648.58	969.33	电容正激励信号输出
10	CINN	模拟	IN	530.64	969.33	电容输入负端(单端使用时 floating)
11	CINP	模拟	IN	412.71	969.33	电容输入正端
12	HEATER	模拟	OUT	294.77	969.33	Heater 电流输出
13	INT	数字	OUT	176.84	969.33	中断输出

注: PAD opening: 65um(W) x 65um(H), PAD min pitch: >120um, seal ring width = 10um, scribe lane width = 60um

3 电气特性

3.1 绝对最大额定值

Table 3-1 绝对最大额定值

参数	符号	值			单位	备注/测试条件
		最小	典型	最大		
电源电压	V _{DD}	-0.3		6	V	VDD to VSS
	V _{SS}	0		0	V	VSS
输入/输出电压	V _{DDIO}	-0.3		VDD+0.3	V	所有输入/输出管脚 to VSS
输入电流	I _{in}	-10		10	mA	Except SCL/SDA/PMW and power pins
存储温度范围	T _{STOR}	-50		+150	°C	
结温温度范围	T _{JUNC}	-40		+125	°C	
ESD HBM	V _{ESD,HBM}	-4000		+4000	V	

3.2 电气性能参数

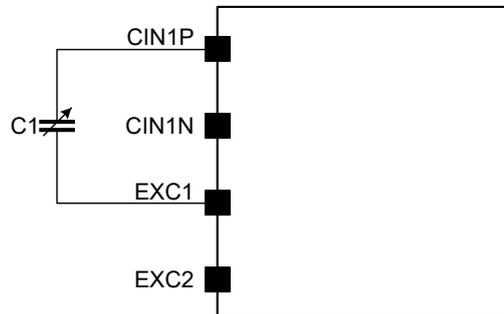
Table 3-2 电气性能参数

参数	符号	值			单位	备注/测试条件
		最小	典型	最大		
裸片尺寸		1250x1050			um	With scribe line
PAD						Support Au/Cu/Al bonding
外围器件			3			
封装湿敏等级			MSL1			
存储			OTP			
电压/电流						
电源电压	V _{DD}	2.2	5	5.5	V	DC
上/下电的电压	V _{POR}	1.4		2.0	V	
测量电流	I _{DD,MEAS}		600	1500	uA	During ADC measurement
休眠电流	I _{DD,sleep}		0.2		uA	@25°C
				6	uA	@125°C
待机电流	I _{DD,idle}		0.3		uA	@25°C
平均电流	I _{DD,avg,h}		10		uA	1 measurement/s at high repeatability, NOR mode
内部参考电压	VREF		1.2		V	
时钟						
内部时钟	f _{OSC}		6		MHz	
内部时钟温漂	T _{COSC}			±2.0	%	-40°C to 125°C
时序						
硬复位上电时间	t _{PU}		3		ms	After hard reset, VDD≥VPOR
软复位上电时间	t _{SR}		3		ms	After soft reset
测量时间	t _{MEAS,h}		12.5		ms	High repeatability
	t _{MEAS,m}		4.5		ms	Medium repeatability

参数	符号	值			单位	备注/测试条件
		最小	典型	最大		
	$t_{MEAS,I}$		2.5		ms	Low repeatability
电容接口						
基础电容	C_{in}			6/18/54	pF	单端输入
变化电容	ΔC_{in}			$\pm(0.5/1.5/4.5)$	pF	单端输入, 相对于中值
ADC 分辨率	$RES_{raw,C}$		24		Bit	Raw resolution
输出噪声	$NOI_{rms,C}$		2		aF/Hz ^{1/2}	Input-referred rms noise in cap
线性度	INL			± 0.01	% of FSR	
温度接口						
温度分辨率	$RES_{raw,T}$		0.003		°C	Raw resolution in Degree over -50°C~150°C
温度精度	Accuracy_T			± 0.2	°C	typ. 0°C to 65°C
				± 0.6	°C	typ. -40°C to 125°C
				± 0.4	°C	max. 0°C to 65°C
				± 1.0	°C	max. -40°C to 125°C
温度稳定性	Repeatability		0.15		°C	Low, typ.
			0.08		°C	Medium, typ.
			0.04		°C	High, typ.
加热接口						
加热	P_{Heater}	10		16	mA	Heater running
PWM接口 (模拟输出)						
PWM 频率	f_{PWM}		~1		KHz	
PWM 分辨率	RES_{PWM}		12		Bit	
I2C 接口						
I2C 时钟	$f_{c,I2C}$		400		KHz	fast mode
			1000		KHz	fast mode plus
接口输入低电平	V_{IL}	0		$0.3 \cdot V_{DD}$	V	
接口输入高电平	V_{IH}	$0.7 \cdot V_{DD}$		VDD	V	
接口上拉电阻	R_P	390			Ω	
接口输出低电平	V_{OL}			$0.2 \cdot V_{DD}$	V	
接口线上电容负载	C_b			400	pF	fast mode
				340	pF	fast mode plus
可靠性						
ESD HBM		4			KV	
ESD CDM		750			V	
ESD Latchup		-200		+200	mA	125°C
逻辑功能						
工作模式	NOR					
	CYC					
	CMD					
	PWMOUT					
IIR 滤波器	BW	0.021		1	ODR	五种配置可选
传感器校正			2P2T/3P2T			
OTP			512		bit	

4 电路描述

4.1 电容测量方法



支持所需的单电容模式，在测量单个电容传感器时，电容传感器接在 CIN1P 和 EXC1 之间。为了获得较好的结果，将寄生电容小、不易受到外界干扰的电极接在 CIN1P 上，另一端接在 EXC1 上。

相关的电容测量控制位应该按如下设置：

单端电容测量模式 (CAP_DIFF=0, EXC2_EN=0)

内部补偿电容的大小根据传感器电容的零点确定，由 CCP 和 CCN 控制，每个 LSB 对应约 0.07pF 的电容量。该模式下，总的内部补偿电容是两个控制代码的和，即 $(CCP + CCN) \cdot 0.07\text{pF}$ ，其中 CCP 和 CCN 的取值范围为 [0,127]。电容量程 CAP_RANGE[1:0] 的选择见下表。

Table 4-1 电容量程 CAP_RANGE[1:0]

CAP_RANGE	K_{range}	C1 中点允许范围 (C1max + C1min)/2	C1 电容变化允许范围 (C1max-C1min)
00b / 01b	1	0~18pF	0~3.0pF
10b	3	0~54pF	0~9pF
11b	1/3	0~6pF	0~1pF

最终电容测量的数据和 C1 的电容线性变化，可由下式表达：

$$CDATA_{RAW}[digits] = \frac{[C_1 - (CCP + CCN) \cdot K_{range} \cdot 0.07\text{pF}]}{2.5\text{pF} \cdot K_{range}} * 2^{23}$$

$$CDATA_{RAW}[digits] \in [-2^{23}, 2^{23} - 1]$$

$$CCP, CCN \in [0, 127]$$

CCP 和 CCN 的设置必须满足以下条件：

$$CCP + CCN \approx \frac{C_1}{K_{range} \cdot 0.07\text{pF}}$$

4.2 电容过采样率

测量外部电容时 CDC 的过采样率 OSR 决定的测电容的时间和精度，可以通过控制寄存器 AFE_CFG_REG.OSR_C 来控制过采样率。

Table 4-2 电容过采样率

OSR_C (BIN)	OSR	Conversion Time (ms)	Output Data Rate (Hz)	RMS Noise (aF $\sqrt{\text{Hz}}$)	RMS Noise (aF)	P-P Noise (aF)	Effective Resolution (Bits)	P-P Resolution (Bits)
000	128x	218.2	4.6	3.4	7.3	TBD	20.4	17.9
001	64x	109.4	9.1	3.1	9.5	TBD	20.0	TBD
010	32x	55.0	18.1	3.1	13.5	TBD	19.5	TBD
011	16x	27.8	36.0	3.0	17.8	TBD	19.1	TBD
100	8x	14.0	71.4	3.0	25.2	TBD	18.6	TBD
101	4x	7.4	135.1	3.2	38.1	TBD	18.0	TBD
110	2x	4.0	250.0	3.4	53.9	TBD	17.5	TBD
111	1x	2.0	500.0	3.9	87.6	TBD	16.8	TBD

 注： 以上测试条件均未启用 IIR 滤波器。

4.3 温度测量

支持内部测温的方式，内部温度传感器信号进入 ADC 后被量化为 24 位的数据输出，进入后续模块对外部电容传感器的温度漂移进行补偿。

温度传感器感知的温度范围为 $-50^{\circ}\text{C} \sim 150^{\circ}\text{C}$ 。用户可以获得 20bit 的温度信息，它们的温度分辨率小于 0.003°C 。

 注： 在芯片出厂时，温度传感器并未经过校准，因此无法保证温度数据的绝对精度。用户需要使用校准软件自行对内部温度传感器进行校准以获得准确的温度信息。

4.4 温度测量过采样率

测量温度的过采样率由控制寄存器 AFE_CFG_REG.OSR_T 决定，使用越大的过采样率测量将使测量结果的噪声越小，但测量时间越长。测量温度时芯片内部把 ADC 的时钟频率固定为 SAMPLE_FREQ=00。

Table 4-3 AFE_CFG_REG.OSR_T (二进制)

AFE_CFG_REG.OSR_T (二进制)	OSR	测量时间 (ms) @SAMPLE_FREQ=00	ODR_T(Hz)
000	128x	218.2	4.6
001	64x	109.4	9.1
010	32x	55.0	18.1
011	16x	27.8	36.0
100	8x	14.0	71.4
101	4x	7.4	135.1
110	2x	4.0	250.0
111	1x	2.0	500.0

4.5 ADC 时钟频率

测量外部电容时 ADC 的时钟频率可以通过控制寄存器 AFE_CFG_REG.SAMPLE_FREQ 来控制。

Table 4-4 SAMPLE_FREQ[1:0] (二进制)

SAMPLE_FREQ[1:0] (二进制)	Sample Clock Divider	Sample Frequency
00	OSC_freq / 40	~ 150kHz
01	OSC_freq / 24	~ 250kHz
10	OSC_freq / 16	~ 375kHz
11	OSC_freq / 12	~ 500kHz

4.6 上电复位电路

上电复位电路 (POR) 在上电后产生复位信号，当 VDD 电源电压超过 1.4~2.0V 以后，复位信号被取消，其他电路模块开始工作。

4.7 基准电压

片内的基准电压产生电路，可以为其他电路产生出稳定的 1.2V 参考电压。修改基准电压将会等比例地影响内部电路的供电电压。通过地址 0x1D 的 OTP 中 Vref_trim 可以调整 1.2V 参考电压值。

Table 4-5 Vref_trim[6:0]

Vref_trim[6:0]	1.2V Reference Voltage	Vref_trim[6:0]	1.2V Reference Voltage
1000000	MIN	0000000	1.200V (缺省值)
...	...	0000001	+2mV
1111101	-6mV	0000010	+4mV
1111110	-4mV
1111111	-2mV	0111111	MAX

4.8 时钟振荡器

片上的时钟振荡器，在上电以后将产生频率为 6MHz 的时钟信号(缺省的时钟频率值会随工艺的变化产生偏差)。时钟振荡器由片内的稳压电源供电，它的频率基本不会随着 VDD 的变化而变化。但由于半导体工艺的偏差，不同的芯片间频率值会有所偏差。因此，通过地址为 0x02 的 OTP 来校正这种偏差。

Table 4-6 Osc_Trim[12:8]

Osc_Trim[12:8]	OSC 频率	Osc_Trim[12:8]	OSC 频率
10000	MIN	00000	6 MHz (缺省值, 仿真结果)
....	...	00001	103% Default Frequency
11101	91% Default Frequency	00010	106% Default Frequency
11110	94% Default Frequency
11111	97% Default Frequency	01111	MAX

4.9 电源稳压电路

集成了两个 1.8V 的线性稳压电路，它们分别为模拟前端和数字内核电路进行供电。线性稳压电路是完全片内集成的，无需任何片外元件。它使用基准电压模块产生的电压作为基准，将 VDD 电压转换成为内部电源电压。

5 功能描述

5.1 系统框图

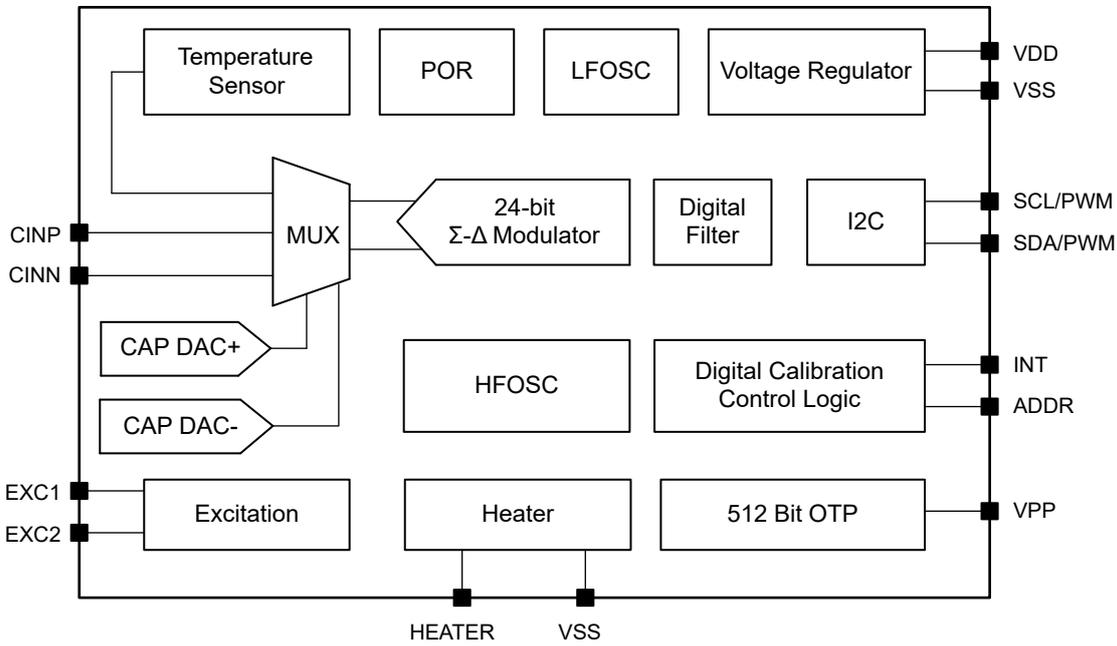


Figure 5-1 系统框图

5.2 上电初始化

在上电后，且 VDD 满足电气指标的条件下，完成以下初始化操作。

- 加载 OTP 参数，并且检查 OTP 数据完整性，存入状态字寄存器。
- 如果 OTP 加载到 SYS_CFG_REG 中的 PWMOUT_MODE 比特为 1，则芯片进入 PWMOUT 工作模式。否则进入 NOR 模式。

上电初始化期间，状态字寄存器的 Busy Flag 会保持为 1 直到初始化结束，所以在发送第一条 I2C 控制指令前，要用 I2C 读指令来读 Busy Flag，直到读到 Busy Flag 为 0，才能发送 I2C 控制指令。其实，在发送任何控制指令前，都应轮询 Busy Flag，直到读到 Busy Flag 为 0，才能发送 I2C 控制指令。

5.3 工作模式

芯片包括 NOR、CYC、CMD 和 PWMOUT 四种工作模式。NOR、CYC、CMD 模式下，用户可以通过发送“模式控制相关指令”来切换工作模式。

 注：在发送“模式控制相关指令”前，要轮询 Busy Flag 直到其为 0。

需特别注意的是，进入 PWMOUT 模式后，无法再进行 I2C 通信，也就无法再接收任何指令了。所以用发送 START_PWMOUT 指令的方式进入 PWMOUT 模式可以作为一种调试 PWMOUT 功能的手段；而通过 OTP 编程方式修改 PWMOUT_MODE 对应的 OTP 位为 1 后，此芯片就再也无法切换成其它工作模式了。

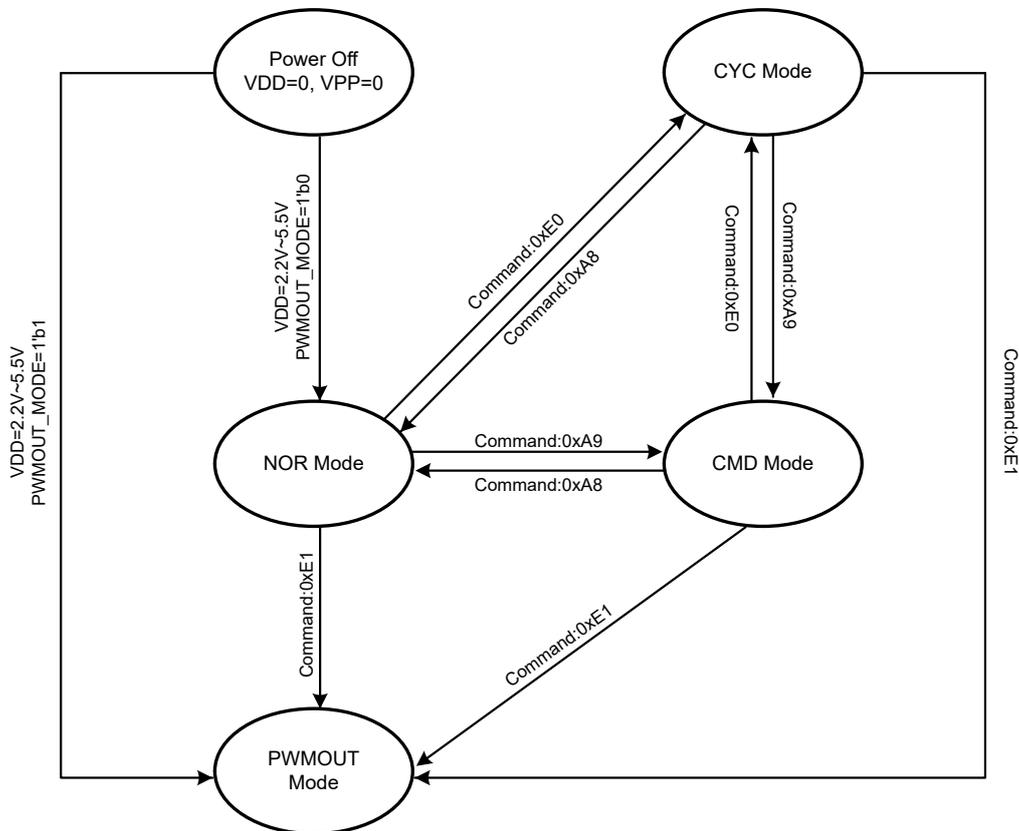


Figure 5-2 工作模式切换图

 注：对于需要写 OTP 的应用场景，VPP 需要接 7.0V ~ 7.2V，对于全程不需要写 OTP 的应用场景，VPP 可以 Floating。

5.3.1 NOR 模式

此模式适用于偶尔对温湿度进行测量的应用场合。在此模式下，芯片仅在收到控制指令后，才会工作。

此模式的应用过程如下：

1. 轮询状态字直到 Busy Flag 为 0。
2. 发送控制指令。
3. 轮询状态字直到 Busy Flag 为 0。如果前一条发送的控制指令有预期返回数据的话，则同时得到了返回数据。
4. 重复上述的 2, 3 步骤直到操作完成。

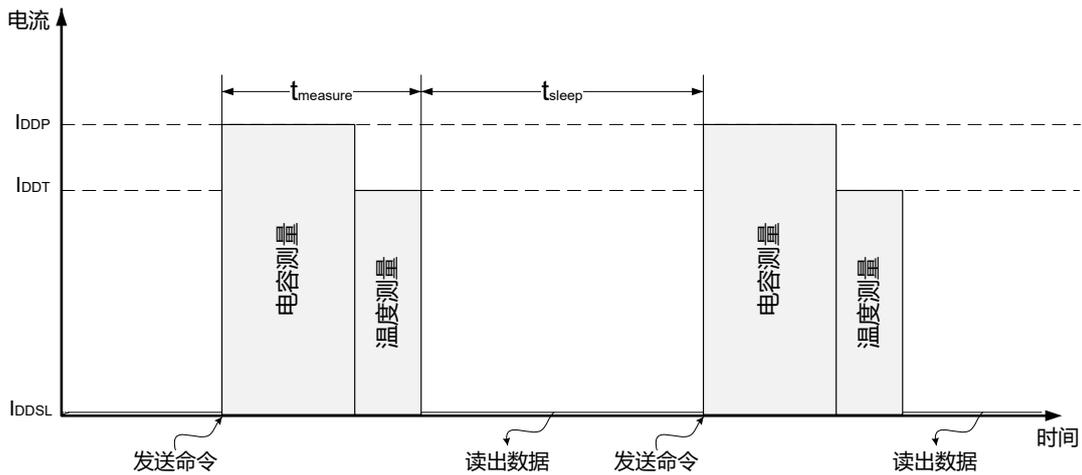


Figure 5-3 NOR模式下测量时序

5.3.2 CYC 模式

此模式适用于自动周期性测量温湿度的应用场合。

此模式下，芯片按设置的周期 (MEAS_CYC), 执行最后一条测量相关指令。此模式的应用过程如下：

1. 轮询状态字直到 Busy Flag 为 0。
2. 发送 START_CYC 指令。
3. 轮询状态字直到 Busy Flag 为 0。
4. 发送 GETCT 指令。
5. 在需要的时候，发送 I2C 读指令，获得最近一次的温湿度测量结果。
6. 重复上述的步骤 5。

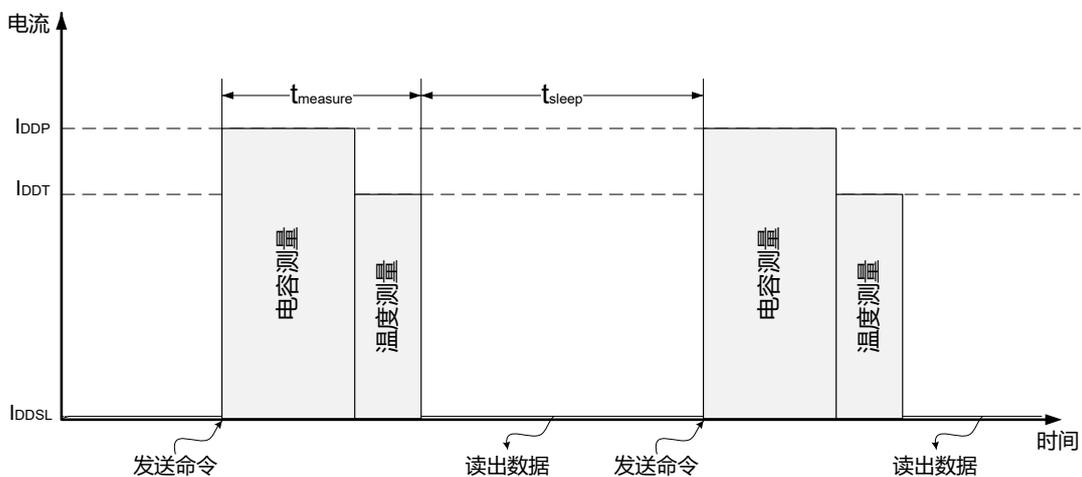


Figure 5-4 CYC 模式下测量时序

Table 5-1 tcycle 配置说明

SYS_CFG_REG.MEAS_CYC	CYC 模式的测量周期时间 tcycle
000	~5ms
001	~10ms
010	~20ms
011	~40ms
100	~80ms
101	~250ms
110	~500ms
111	~1000ms

$tcycle \geq tmeasure$, $tmeasure = tmeas + tpmeas$, 其中 $tmeas$ 为温度的测量时间, $tpmeas$ 为电容的测量时间, 它们分别取决于过采样率 OSR_T 和 OSR_C 。

在每个测量周期 $tcycle$ 内, 温度的测量是可选的, 用户通过设置可以实现每 N 次测量周期完成一次温度测量, 例如 [CYC 模式下测量时序](#) 显示的是每 2 个测量周期完成 1 次温度测量。可通过控制命令 CFGSYS 设置 SYS_CFG_REG 中的 TM_RATE 字段来控制。

Table 5-2 TM_RATE 的配置说明

SYS_CFG_REG.TM_RATE	CYC 模式下温度测量的速率控制
000	每次测量电容都测量温度
001	每 2 次测量电容测量 1 次温度
010	每 4 次测量电容测量 1 次温度
011	每 8 次测量电容测量 1 次温度
100	每 16 次测量电容测量 1 次温度
101	每 32 次测量电容测量 1 次温度
110	每 64 次测量电容测量 1 次温度
111	每 128 次测量电容测量 1 次温度

5.3.3 CMD 模式

此模式适用于对本芯片进行测试以及写入 OTP 参数。

CMD 模式与 NOR 模式的行为类似, 但支持的指令更多。

5.3.4 PWMOUT 模式

此模式适用于需要以 PWM 形式不断输出实时测量结果的应用。

PWMOUT 模式与 CYC 模式的行为类似, MEAS_CYC, OSR_T, OSR_C, TM_RATE, CAL_EN 同样起作用。PWMOUT 模式周期执行的是固定的 GET_CT 指令, 并且 OSR_C 和 OSR_T 由 AFE_CFG_REG 寄存器中的值决定。

PWMOUT 模式用 SDA 管脚输出电容测量值, SCL 管脚输出温度测量值 (温度测量值可通过 PWMOUT_SEL 位配置是否输出)。由于复用了 I2C 的管脚, 所以在进入 PWMOUT 模式后就无法进行 I2C 通信了。

PWMOUT 的分辨率为 12 位, 最窄脉冲宽度为 1 个 6M 时钟的周期。

5.4 测量流程

GETCT 指令的工作流程如下:

1. 测量电容。
2. 测量温度。(在 CYC 模式和 PWMOUT 模式下, 由 TM_RATE 决定是否执行; 其它模式下都会执行)
3. 对电容测量值进行 IIR 滤波。(仅 CYC 模式和 PWMOUT 模式下执行; 其它模式不会执行)
4. 对滤波后的温度值和电容值进行补偿校准计算。(由 SYS_CFG_REG 寄存器中的 CAL_EN 决定)
5. 保存计算结果等收到 I2C 读指令后输出。

芯片包含 INT PAD, 也可以用它来提示测量完成或者测量结果超出上下限阈值范围。详见 SYS_CFG_REG 寄存器中的 INT_HL, INT_EOM_EN, INT_CMP_EN 的描述。

5.5 IIR滤波器

在 CYC 模式和 PWMOUT 模式下使用 IIR 滤波器对电容和温度的测量结果进行滤波, 可以抑制由于瞬时干扰引起的测量输出值变化。滤波公式为:

$$data_filtered = \frac{data_filtered_previous \{ filtered_coefficient - 1 \} + raw_data_ADC}{filtered_coefficient}$$

其中:

- data_filtered 为 IIR 滤波器的输出值
- data_filtered_previous 为 IIR 滤波器上一次的输出值
- raw_data_ADC 为测量的原始数据
- filter_coefficient 为 IIR 滤波器系数, 它控制滤波器的信号带宽, 它由 SYS_CFG_REG 中的 IIR_CO 控制, 如下表所示。

Table 5-3 TM_RATE 的配置说明

SYS_CFG_REG.IIR_CO	Filter_Coefficient	Bandwidth
000	1	Full
001	2	0.230 x ODR
010	4	0.092 x ODR
011	8	0.043 x ODR

SYS_CFG_REG.IIR_CO	Filter_Coefficient	Bandwidth
Others	16	0.021 x ODR

注： ODR 为输出数据速率，由 MEAS_CYC 决定。

6 控制寄存器

芯片包含 3 组 16bit 的控制寄存器。它们上电后的默认值由 OTP 相应地址中的值决定，用户可以在上电后通过 I2C 发送相应的控制命令来修改这些寄存器的值。

Register Name	Bits	数字接口控制命令	上电默认值	功能描述
SYS_CFG_REG	16	0xBE	OTP[0x1E]	控制系统的功能行为
CCP_CCN_REG	16	0xBC	OTP[0x1C]	控制内部补偿电容大小
AFE_CFG_REG	16	0xBB	OTP[0x1B]	控制模拟前端电路的参数

6.1 SYS_CFG_REG 寄存器

Table 6-1 SYS_CFG_REG 寄存器

Field	Bits	Description
INT_HL	15	INT PAD 上的中断信号的有效电平。 0: 低电平有效。 1: 高电平有效。
REG_PAD_PU_ENB	14	I2C 的两个 PAD 是否需要内部上拉 0: 内部上拉。 1: 内部不上拉。
INT_EOM_EN	13	EOM 中断使能。使能后，每完成一次测量，就在 INT PAD 上产生中断。在 CYC 和 NOR 模式下有效。 0: 关闭。 1: 打开。
INT_CMP_EN	12	CMP 中断使能。使能后，每完成一次测量，就把电容测量结果的校准值的高 8 位与上限阈值和下限阈值进行比较。如果校准值高于上限阈值或低于下限阈值，则出中断。此中断只有在 CYC 模式下执行 CAL_EN=1 的 GETCT 指令时才有可能出，其它时候不出。 0: 关闭。 1: 打开。 INT_CMP_EN 为 1 时，INT_EOM_EN 在芯片内部固定为 0。
CAL_EN	11	对电容和温度的测量结果进行补偿校准计算。 0: 关闭，执行 GETCT 指令时不进行数字补偿校准计算，输出为 ADC 的原始测量值。 1: 打开，执行 GETCT 指令时进行数字补偿校准计算，输出为校准值。 另外，PWMOUT 模式下，此位在芯片内部固定为 1。
HEATER_LVL_SEL	10:9	Heater 电流档位选择信号。 2'b00: 10mA 2'b01: 12mA 2'b10: 14mA 2'b11: 16mA
TM_RATE	8:6	CYC, PWMOUT 模式下，控制 GETCT 指令测量温度的速率。 3'b000: 每次测量周期都测量温度。 3'b001: 每 2 次测量周期测量 1 次温度。 3'b010: 每 4 次测量周期测量 1 次温度。 3'b011: 每 8 次测量周期测量 1 次温度。 3'b100: 每 16 次测量周期测量 1 次温度。 3'b101: 每 32 次测量周期测量 1 次温度。 3'b110: 每 64 次测量周期测量 1 次温度。 3'b111: 每 128 次测量周期测量 1 次温度。
MEAS_CYC	5:3	CYC, PWMOUT 模式下控制测量周期。 3'b000: 5ms (200Hz) 3'b001: 10ms (100Hz) 3'b010: 20ms (50Hz) 3'b011: 40ms (25Hz) 3'b100: 80ms (12.5Hz) 3'b101: 250ms (4Hz) 3'b110: 500ms (2Hz) 3'b111: 1000ms (1Hz)

Field	Bits	Description
IIR_CO	2:0	参见 TM_RATE 的配置说明。 注: 此项在所有模式下都有用。

6.2 CCP_CCN_REG 寄存器

Table 6-2 CCP_CCN_REG 寄存器

Field	Bits	Description
Reserved	15	Reserved
CCP	14:8	内部补偿电容 CCP, 电容值为 CCP[6:0]*0.07pF
Reserved	7	Reserved
CCN	6:0	内部补偿电容 CCN, 电容值为 CCN[6:0]*0.07pF

6.3 AFE_CFG_REG 寄存器

Table 6-3 AFE_CFG_REG 寄存器

Field	Bits	Description
MEASH_MODE_SEL	15	0: 电容测量时, 采样单次测量方式。 1: 电容测量时, 采样两次测量方式。
OSR_T	14:12	测量温度时的过采样率, 过采率越大, 测量结果噪声越低, 测量时间越长。 3'b111: 1X 3'b110: 2X 3'b101: 4X 3'b100: 8X 3'b011: 16X 3'b010: 32X 3'b001: 64X 3'b000: 128X
EXCCLK_REVERSE	11	0: 单次电容测量时, 用 EXCCLK 的正相位。 1: 单次电容测量时, 用 EXCCLK 的反相位。
OSR_C	10:8	测量电容时的过采样率, 过采率越大, 测量结果噪声越低, 测量时间越长。 3'b111: 1X 3'b110: 2X 3'b101: 4X 3'b100: 8X 3'b011: 16X 3'b010: 32X 3'b001: 64X 3'b000: 128X
ADC_ISEL	7:6	ADC 电流偏置配置。
CAP_DIFF	5	电容测量方式选择。 0: 外部电容为单端电容。 1: 外部电容为差分电容。
EXC2_EN	4	使能 EXC2 引脚
CAP_RANGE	3:2	电容测量量程控制, 参见 电容测量方法 。
SAMPLING_FREQ	1:0	CDC 过采样时钟分频比设置, 参见 ADC 时钟频率 。

7 I2C 接口

芯片支持 I2C 接口协议。通信中，本芯片作为从设备，支持 100kbps, 400kbps, 1Mbps。作为 I2C PAD 时 (即没有进入 PWMOUT 模式时), SDA 的输出为开漏输出 (Open-drain), SDA 的输入有内部上拉电阻 (由 REG_PAD_PU_ENB 控制)。SCL 为纯输入口, 有内部上拉电阻 (同样由 REG_PAD_PU_ENB 控制)。

这两个 PAD 都有 ESD 保护和防电流倒灌的能力。

7.1 I2C 设备地址

芯片作为 I2C 从设备其设备地址设置如下:

- 最低位的设置: 可以通过 ADDR 引脚的电平来随时改变。将 ADDR 接低电平将使 I2C 设备地址的最低位变为 0, 将 ADDR 接高电平, 将使 I2C 设备地址的最低位变为 1。
- 7 位设备地址的高 6 位设置: 可以通过写 OTP 中 I2C_slave_Addr 进行修改。当 I2C_slave_Addr 字段为全 0 时 (OTP 的出厂默认值), 芯片内部把高 6 位设为 6'b011100。当 I2C_slave_Addr 被修改后, 新的设备地址将在下一次 OTP 参数加载后生效。

7.2 I2C 操作

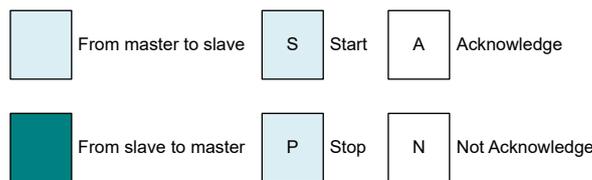


Figure 7-1 I2C 操作

I2C 写指令说明:

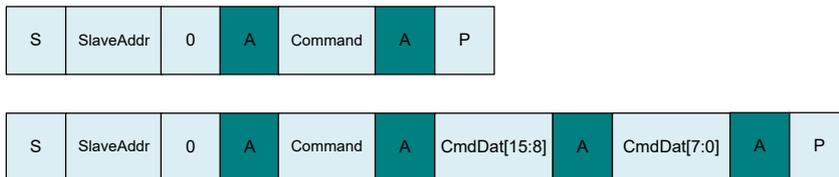


Figure 7-2 I2C Write Data

I2C 读指令说明:

(a) 任意时刻均可读 8bit 状态字

S	Slave Addr	1	A	Status	N	P
---	------------	---	---	--------	---	---

(b) 发送 ROTP 命令 (0x00~0x1F), 从输出缓冲区读取 16bit OTP 中的数据

S	Slave Addr	1	A	Status	A	OTP Data [15:8]	A	OTP Data [7:0]	N	P
---	------------	---	---	--------	---	-----------------	---	----------------	---	---

(c) 发送 GET_RAW 命令 (0xAx)后, 从输出缓冲区读取 24bit 原始电容或温度测量数据

S	Slave Addr	1	A	Status	A	RawDat [23:16]	A	RawDat [15:8]	A	RawDat [7:0]	N	P
---	------------	---	---	--------	---	----------------	---	---------------	---	--------------	---	---

(d) 发送 GET_CT 命令 (0xAC)后, 从输出缓冲区读取 20bit 电容和 20bit 温度的测量数据

S	Slave Addr	1	A	Status	A	CapDat [19:12]	A	CapDat [11:4]	A	CapDat [3:0]	TempDat [19:16]	A	TempDat [15:8]	A	TempDat [7:0]	N	P
---	------------	---	---	--------	---	----------------	---	---------------	---	--------------	-----------------	---	----------------	---	---------------	---	---

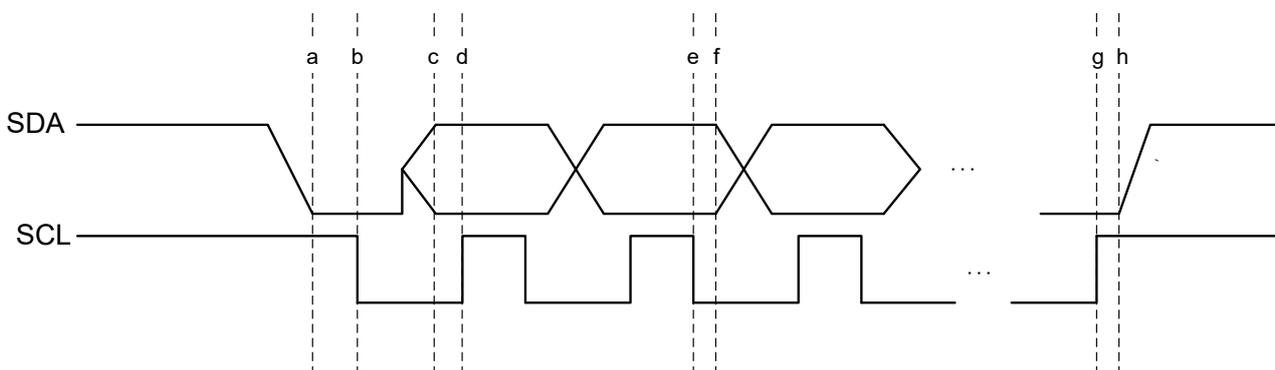
(e) 发送 GET_CT 命令 (0xAC)后, 从输出缓冲区读取 20bit 电容、20bit 温度的测量数据和 CRC 校验数据

S	Slave Addr	1	A	Status	A	CapDat [19:12]	A	CapDat [11:4]	A	CapDat [3:0]	TempDat [19:16]	A	TempDat [15:8]	A	TempDat [7:0]	A	CRC [7:0]	P
---	------------	---	---	--------	---	----------------	---	---------------	---	--------------	-----------------	---	----------------	---	---------------	---	-----------	---

Figure 7-3 I2C Read Data

I2C 读操作的返回数据总是从状态字 (Status) 开始, 状态字的定义请参见[状态字](#)。在状态字之后返回的是有效数据, 数据内容和长度都取决于上一条写操作的控制命令, 具体参见[控制指令](#)。

使用 GETCT 命令读出数据时, 用户可以根据需要读出最后 1 字节 CRC 校验数据以对之前的 6 字节数据进行校验, CRC 校验的多项式为 $CRC[7:0]=1+x^4+x^5+x^8$ 。

7.3 I2C 时序

Figure 7-4 I2C 时序
Table 7-1 I2C 时序说明

时间	PAD_DEL_SEL_HV 值	要求	说明
t_{ab}	0	大于 0ns	对端设备发送 I2C 起始标志时, SDA 下降沿到 SCL 下降沿的时间。
	1	大于 0ns	
t_{cd}	0	大于 0ns	对端设备发送数据时, SDA 变化到 SCL 上升沿的时间。
	1	大于 0ns	
t_{ef}	0	大于 180ns	本芯片发送数据时, SCL 下降沿到 SDA 数据变化的时间。对端设备需要有能力在此条件下接收。

时间	PAD_DEL_SEL_HV 值	要求	说明
	1	大于 60ns	
t_{gh}	0	大于 0ns	对端设备发送 I2C 结束标志时, SCL 上升沿到 SDA 上升沿的时间。
	1	大于 0ns	

7.4 状态字

Bit	名称	描述
[7]	Busy Flag	忙闲指示 1: 芯片忙。此时不能接收新的控制指令。 0: 芯片闲。此时可以接收新的控制指令。
[6:5]	Mode Status	当前工作模式 2'b00: 当前处于 NOR 模式。 2'b01: 当前处于 CYC 模式。 2'b10: 当前处于 CMD 模式。 2'b11: 不用。
[4]	CRC Flag	OTP 数据 CRC 校验结果。 0: OTP 的 CRC 校验通过。 1: OTP 的 CRC 校验不通过。 芯片加载 OTP 时会做 CRC 测试, 测试结果会在此位保存。 注: CRC 校验不通过不影响 OTP 数据加载。
[3]	CAL_EN	0: 输出的数据为 ADC 输出的原始数据。 1: 输出的数据为校准后的数据。
[2]	Heater Status	0: Heater处于 OFF 状态 1: Heater处于 ON 状态
[1:0]	Reserved	Reserved

7.5 控制指令

Table 7-2 控制指令集

Command (1 Byte)	Data (2 Bytes)	Return Data	可用工作模式	描述
OTP 操作相关指令				
0x00~0x1F		16 bit OTP 数据	NOR/CMD	ROTP 指令。 从 OTP 的相应地址中读取数据, 地址由命令确定。
0x40~0x5F	16 bit OTP 数据		CMD	WOTP 指令。 向 OTP 的相应地址中写入数据, 地址由命令确定。
0xAA			CMD	WCRC 指令。 计算当前 OTP 数据的 CRC 值, 并写入 OTP 的 0x1F 地址。
模式控制相关指令				
0xA8			CYC/CMD	START_NOR 指令。 进入 NOR 模式。
0xA9			CYC/NOR	START_CMD 指令。 进入 CMD 模式。
0xE0			NOR/CMD	START_CYC 指令。 进入 CYC 模式。
0xE2			NOR/CYC/CMD	START_PWMOUT 指令。 进入 PWMOUT 模式。
复位相关指令				
0xBA			NOR/CYC/CMD	SOFT_RESET 指令。 芯片 soft reset。

Command (1 Byte)	Data (2 Bytes)	Return Data	可用工作模式	描述
控制寄存器配置相关指令				
0xBB	16 bit Data		NOR/CMD	CFGAFE 指令。 设置 AFE_CFG 寄存器。
0xBE	16 bit Data		NOR/CMD	CFGSYS 指令。 设置 SYS_CFG 寄存器。
0xBC	16 bit Data		NOR/CMD	CFGCC 指令。 设置 CCP_CCN 寄存器。
测量相关指令				
0xAC	OSR_T OSR_C	电容值和温度值	NOR/CYC/CMD	GETCT 指令。 在校准后使用, AFE 前端配置由 OTP 中的数据决定, 可获取电容和温度的原始或校准后的数据。
0xA0~A3	0x0000	电容原始值	NOR/CYC/CMD	GETRAWC 指令。 在校准流程中使用, 可得到电容的原始测量数据
0xA4~A7	0x0000	温度原始值	NOR/CYC/CMD	GETRAWT 指令。 在校准流程中使用, 可得到温度的原始测量数据
Heater 相关指令				
0xB0			NOR/CMD	HEATEROFF 指令。 关闭 Heater
0xB1			NOR/CMD	HEATERON 指令。 打开 Heater
调试相关指令				
0x20~0x3F		16 bit OTP区域 对应的寄存器值	NOR/CMD	ROTPREG 指令。 读取 OTP 的相应地址对应的寄存器值, 地址由命令确定。
0x60~0x7F	16 bit OTP数据		NOR/CMD	WOTPREG 指令。 向 OTP 的相应地址对应的寄存器写入数据, 地址由命令确定。

 注: 表中的返回数据是指发送了控制命令数据后, 下一次 I2C 读操作可以读出的数据。

7.5.1 OTP 操作相关指令

Table 7-3 读 OTP 指令 (ROTP)

控制命令名称	ROTP
功能	读取 OTP 某一地址中的 16bit 数据。
可用模式	NOR/CMD 模式
控制命令数据	Byte 1: 0x 00~0x1F (OTP Address)
返回数据	Byte 1: Status 状态字 Byte 2: OTP Data [15:8] Byte 3: OTP Data [7:0]

Table 7-4 写 OTP 指令 (WOTP)

控制命令名称	WOTP
功能	向 OTP 某一地址写入 16bit 数据。
可用模式	CMD 模式
控制命令数据	Byte 1: 0x 40~0x5F (0x40+ OTP Address) Byte 2: OTP Data [15:8] Byte 3: OTP Data [7:0] 注: 发送命令时, VPP 必须为 7.0V~7.2V
返回数据	Byte 1: Status 状态字

Table 7-5 写 CRC 指令 (WCRC)

控制命令名称	WCRC
功能	计算当前 OTP 数据的 CRC 值, 并写入 OTP 的 0x1F 地址。
可用模式	CMD 模式
控制命令数据	Byte 1: 0xAA 注: 发送命令时, VPP 必须为 7.0V~7.2V
返回数据	Byte 1: Status 状态字

7.5.2 模式控制相关指令

Table 7-6 START_NOR

控制命令名称	START_NOR
功能	进入 NOR 模式
可用模式	CMD/CYC 模式
控制命令数据	Byte 1: 0xA8
返回数据	Byte 1: Status 状态字

Table 7-7 START_CMD

控制命令名称	START_CMD
功能	进入 CMD 模式
可用模式	NOR/CYC 模式
控制命令数据	Byte 1: 0xA9
返回数据	Byte 1: Status 状态字

Table 7-8 START_CYC

控制命令名称	START_CYC
功能	进入 CYC 模式
可用模式	NOR/CMD 模式
控制命令数据	Byte 1: 0xE0
返回数据	Byte 1: Status 状态字

Table 7-9 START_PWMOUT

控制命令名称	START_PWMOUT
功能	进入 PWMOUT 模式 注: 进入 PWMOUT 模式后, 无法再进行 I2C 通信。
可用模式	NOR/CYC/CMD 模式
控制命令数据	Byte 1: 0xE2
返回数据	

7.5.3 复位相关指令

Table 7-10 SOFT_RESET

控制命令名称	SOFT_RESET
功能	将芯片复位。复位后, OTP 将重新加载。
可用模式	NOR/CYC/CMD 模式。

控制命令名称	SOFT_RESET
控制命令数据	Byte 1: 0xBA
返回数据	Byte 1: Status 状态字

7.5.4 控制寄存器配置相关指令

Table 7-11 CFGAFE

控制命令名称	CFGAFE
功能	设置系统控制寄存器 AFE_CFG_REG
可用模式	NOR/CMD 模式
控制命令数据	Byte 1: 0xBB Byte 2: AFE_CFG_REG[15:8] Byte 3: AFE_CFG_REG[7:0]
返回数据	Byte 1: Status 状态字

Table 7-12 CFGSYS

控制命令名称	CFGSYS
功能	设置系统控制寄存器 SYS_CFG_REG
可用模式	NOR/CMD 模式
控制命令数据	Byte 1: 0xBE Byte 2: SYS_CFG_REG[15:8] Byte 3: SYS_CFG_REG[7:0]
返回数据	Byte 1: Status 状态字

Table 7-13 CFGCC

控制命令名称	CFGCC
功能	设置系统控制寄存器 CCP_CCN_REG
可用模式	NOR/CMD 模式
控制命令数据	Byte 1: 0xBC Byte 2: CCP_CCN_REG[15:8] Byte 3: CCP_CCN_REG[7:0]
返回数据	Byte 1: Status 状态字

7.5.5 测量相关指令

Table 7-14 GETCT

控制命令名称	GETCT
功能	设置测量电容及温度的过采样率，完成测量并读取测量数据
可用模式	NOR/CMD/CYC 模式
控制命令数据	Byte 1: 0xAC Byte 2[2:0]: OSR_C Byte 2[6:4]: OSR_T Byte 3: 0x00 命令中包含的 OSR_T, OSR_C 如果与 AFE_CFG_REG 寄存器中的 OSR_T, OSR_C 值不同的话，以此处的 OSR_T, OSR_C 为准。
返回数据	返回数据的格式如下： Byte 1: Status 状态字 Byte 2: 电容数据 Bit [19:12] Byte 3: 电容数据 Bit [11:4] Byte 4: 电容数据 Bit [3:0] + 温度数据 Bit [19:16] Byte 5: 温度数据 Bit [15:8]

控制命令名称	GETCT
	Byte 6: 温度数据 Bit [7:0] Byte 7: CRC 数据 (可选) 注意: 电容/温度数据是原始数据还是经过补偿校准计算后的数据, 由 SYS_CFG_REG 寄存器的 CAL_EN 位决定。 如果用户需要使用 CRC 检验功能, 则需要读取 Byte 7, 否则可在 Byte 6 读取之后直接结束 I2C 数字接口通信。

Table 7-15 GETRAWC

控制命令名称	GETRAWC
功能	完成电容测量并读取原始的测量数据
可用模式	NOR/CYC/CMD 模式
控制命令数据	Byte 1:0xA0/0xA1/0xA2/0xA3 这 4 个指令码功能一样。 Byte 2:0x00 Byte 3:0x00
返回数据	Byte 1: Status 状态字 Byte 2: 电容数据 Bit [23:16] Byte 3: 电容数据 Bit [15:8] Byte 4: 电容数据 Bit [7:0]

Table 7-16 GETRAWT

控制命令名称	GETRAWT
功能	完成温度测量并读取原始的测量数据
可用模式	NOR/CYC/CMD 模式
控制命令数据	Byte 1:0xA4/0xA5/0xA6/0xA7 这 4 个指令码功能一样。 Byte 2:0x00 Byte 3:0x00
返回数据	Byte 1: Status 状态字 Byte 2: 温度数据 Bit [23:16] Byte 3: 温度数据 Bit [15:8] Byte 4: 温度数据 Bit [7:0]

7.5.6 Heater 相关指令

Table 7-17 HEATERON

控制命令名称	HEATERON
功能	打开 HEATER。打开 HEATER 后, 最多持续 1s 后, 即使没收到 HEATEROFF 指令, HEATER 也会自动关闭。如果还要开 HEATER, 需要再发此命令。 注: 在 HEATER 打开时, 芯片应保持在 NOR 或 CMD 模式。
可用模式	NOR/CMD 模式
控制命令数据	Byte 1: 0xB1
返回数据	Byte 1: Status 状态字

Table 7-18 HEATEROFF

控制命令名称	HEATEROFF
功能	关闭 HEATER
可用模式	NOR/CMD 模式
控制命令数据	Byte 1: 0xB0
返回数据	Byte 1: Status 状态字

7.5.7 调试相关指令

以下指令不建议客户使用。

Table 7-19 读 OTP 对应的寄存器指令 (ROTPREG)

控制命令名称	ROTPREG
功能	读取 OTP 某一地址对应的寄存器值。
可用模式	CMD/NOR模式
控制命令数据	Byte 1: 0x 20~0x3E (0x20 + OTP Address) 其中 OTP 地址 0x11~0x17 无效。
返回数据	Byte 1: Status 状态字 Byte 2: Reg Data [15:8] Byte 3: Reg Data [7:0]

Table 7-20 写 OTP 对应的寄存器指令 (WOTPREG)

控制命令名称	WOTPREG
功能	向 OTP 某一地址对应的寄存器写入值。
可用模式	CMD/NOR模式
控制命令数据	Byte 1: 0x 60~0x7E (0x60 + OTP Address) Byte 2: Reg Data [15:8] Byte 3: Reg Data [7:0] 其中 OTP 地址 0x11~0x17 无效。 当用此命令来调试另一组配置校准系数时，可以设置 0x03~0x0D 地址的值代替后续要放入 0x0E~0x18 的值来进行测试。
返回数据	Byte 1: Status 状态字

8 传感器校准

芯片支持 2P2T 和 3P2T 两种方式校准。校准参数参见 OTP 中位置 0x03~0x18 的定义。

- 对于温度来说，定义读出的 20 位校准结果为 Cal_Result_T, 那么实际的温度值 T:

$$T = \text{Cal_Result_T} / (2^{20}) * 200 - 50$$

- 对于湿度来说，定义读出的 20 位校准结果为 Cal_Result_H, 那么实际的湿度值 H:

$$H = \text{Cal_Result_H} / (2^{20}) * 100$$

9 OTP 存储器

芯片包含一块 64 Byte 的一次性可编程存储器 (OTP)。

Table 9-1 OTP 存储器

地址	位宽	参数名	描述
0x00	15:0	Cust_ID0	用户 ID 低位字。
0x01	15:0	Cust_ID1	用户 ID 高位字。
0x02	15	PWMOUT_MODE	上电后工作模式的选择: 1'b0: NOR 模式。 1'b1: PWMOUT 模式。 此位只能通过 OTP 加载, 无法用 WOTPREG 指令写入。
	14	PWMOUT_SEL	选择是否在 PWMOUT 模式下, 输出温度测量结果。 0: 仅输出湿度测量结果, 不输出温度测量结果。 1: 同时输出湿度和温度测量结果。
	13:10	LFCLK_ABSTRIM	LFOSC Trimming 配置。
	9: 8	OTP_Co_Sel	SEL=Bit[9] ^ Bit[8] SEL=0: 使用第 1 组校准参数进行电容和温度的补偿。 SEL=1: 使用第 2 组校准参数进行电容和温度的补偿。 如果此处SEL=1, 则芯片内部把 AL_SEL 内部固定为 0。
	7	CAL_SEL	0: 使用 2P2T 校准。 1: 使用 3P2T 校准。
	6	PAD_DEL_SEL_HV	控制 I2C 两个 PAD 的抗干扰能力。 0: 低速模式, 抗干扰强。 1: 高速模式, 抗干扰较弱。
	5:0	I2C_slave_Addr	I2C 从地址, 有效范围 0x01~0x3F
0x03	15:0	C01_1	温度校准中的 A[15:0]
0x04	15:0	C02_1	温度校准中的 B[15:0]
0x05	15:0	C03_1	7:0: 温度校准中的 A[23:16] 15:8: 温度校准中的 B[23:16]
0x06	15:0	C04_1	电容校准中的 MA[15:0]
0x07	15:0	C05_1	7:0: 电容校准中的 MA[23:16] 15:8: 电容校准中的 MB[23:16]
0x08	15:0	C06_1	电容校准中的 MB[15:0]
0x09	15:0	C07_1	电容校准中的 A[15:0]
0x0A	15:0	C08_1	7:0: 电容校准中的 A[23:16] 15:8: Tpre[23:16]
0x0B	15:0	C09_1	Tpre[15:0]
0x0C	15:0	C10_1	电容校准中的 B[15:0]
0x0D	15:0	C11_1	7:0: 电容校准中的 B[23:16] 15:8: 电容测量 INT 的阈值 1。比较阈值上限, 与 P 的最高 8 位进行比较。高于上限出中断。
0x0E	15:0	C01_2	2P2T 的第二组参数, 与 C01_1 意义一致。 或者 3P2T 中的 MC[15:0]。
0x0F	15:0	C02_2	2P2T 的第二组参数, 与 C02_1 意义一致。 或者在 3P2T 中 7:0: MC[23:16], 15:8: C[23:16]
0x10	15:0	C03_2	2P2T 的第二组参数, 与 C03_1 意义一致。 或者 3P2T 中的 C[15:0]
0x11	15:0	C04_2	2P2T 的第二组参数, 与 C04_1 意义一致。
0x12	15:0	C05_2	2P2T 的第二组参数, 与 C05_1 意义一致。

地址	位宽	参数名	描述
0x13	15:0	C06_2	2P2T 的第二组参数, 与 C06_1 意义一致。
0x14	15:0	C07_2	2P2T 的第二组参数, 与 C07_1 意义一致。
0x15	15:0	C08_2	2P2T 的第二组参数, 与 C08_1 意义一致。
0x16	15:0	C09_2	2P2T 的第二组参数, 与 C09_1 意义一致。
0x17	15:0	C10_2	2P2T 的第二组参数, 与 C10_1 意义一致。
0x18	15:0	C11_2	7:0: 2P2T 的第二组参数, 与 C11_1[7:0] 意义一致。 15:8: 电容测量 INT 的阈值 2。比较阈值下限, 与 P 的最高 8 位进行比较。低于下限出中断。
0x19	15:0	ANA_CFG0	15: REG_BG2_CHOP_EN_HV 14: REG_ADC_CHOP_EN_HV 13: REG_ADC_CHOP_CLK_SEL_HV 12:10 REG_TS_TRIM_COARSE_HV [2:0] 9:0 REG_TS_TRIM_FINE_HV [9:0]
0x1A	15:0	ANA_CFG1	15: REG_ADC_ISEL_HV 14: REG_ADC_CALCT_HV 13: REG_ADC_TESTMODE_HV 12:8 REG_HFCLK_ABSTRIM_HV 7: REG_ADC_INCAP_DEM_EN_HV 6:5: CIC_OUT_INDEX (00:3, 01:4, 10:5,11:6) 4:2: Reserved 1: TS_IBIAS_DEM_EN_HV 0: BG2_DEM_EN_HV
0x1B	15:0	AFE_CFG_REG_DEFAULT	AFE_CFG_REG 寄存器的上电初始化默认值
0x1C	15:0	CCP_CCN_REG_DEFAULT	CCP_CCN_REG 寄存器的上电初始化默认值
0x1D	15	RSV	Reserved
	14:8	BG1_TRIM	Bandgap1 输出电压 trim。Default 0000000
	7:0	TEST_MUX	Bit 7: TEST_EN。ADDR 和 INT PAD 作为测试口的使能。 0: 正常使用 1: 作为测试 PAD。 Bit 6: TEST_SEL。测试口选模拟信号/数字信号 0: 数字输出。 1: 模拟输出。 Bit 5: 0 测试选择信号。其中数字部分用了 [4:0]。
0x1E	15:0	SYS_CFG_REG_DEFAULT	SYS_CFG_REG 寄存器的上电初始化默认值
0x1F	15:0	ChecksumC	通过线性反馈移位寄存器产生的 CRC 校验字, 上电后检测用于检测 OTP 数据的完整性。 CRC 计算时, 地址从 0x00~0x1F 低 Byte 先输入, 16 位计算结果的高 byte 放入 ChecksumC[7:0], 低 byte 放入 [15:8]。

 注: OTP 出厂时为全 0。CRC 不管对错, 上电或软复位后, OTP 参数都会被加载。

10 修订记录

Table 10-1 修订记录

版本	日期	说明
V1.0	2021.09.28	初始版本
V1.1	2022.11.25	1.更新部分描述。 2.调整排版。
V1.2	2023.09.11	增加 PAD 信息。