



恒芯微电子
HCT MICRO

HCT5912 数据手册

Version:	1.3
----------	-----

目录

图片列表	iii
表格列表	iv
概述	1
主要指标	1
1. AC 与 DC 特性	- 2 -
1.1. 极限参数	- 2 -
1.2. 工作参数	- 2 -
1.3. ESD/LU 性能	- 2 -
1.4. 内部复位与电压检测参数	- 3 -
1.5. GPIO 参数	- 3 -
1.6. 时钟参数	- 4 -
1.7. 计量性能参数	- 4 -
1.8. 模拟性能参数	- 4 -
2. 引脚定义和封装	- 6 -
2.1. 引脚定义	- 6 -
2.2. 封装尺寸	- 7 -
3. 功能模块	- 8 -
3.1. 电源管理模块	- 8 -
3.2. 晶体起振模块	- 9 -
3.3. 高频 RCH 时钟	- 9 -
3.4. BGP 电路	- 9 -
3.5. 高精度 Sigma-Delta ADC	- 9 -
3.6. DSP	- 9 -
3.7. 中断	- 10 -
3.8. UART 接口	- 10 -
3.9. SPI 接口	- 10 -
4. 寄存器描述	- 11 -
4.1. 寄存器地址和描述	- 11 -
4.2. 系统控制寄存器	- 13 -
4.2.1. SYS_CONF0	- 13 -
4.2.2. SYS_CONF1	- 14 -
4.2.3. SYS_CONF2	- 15 -
4.3. 配置参数校验寄存器	- 16 -
4.4. 计量数据寄存器	- 17 -
4.5. 系统状态寄存器	- 17 -
4.6. 模拟控制寄存器	- 18 -
4.7. 寄存器特性	- 20 -

5. 复位	- 21 -
5.1. 上电复位 (POR)	- 21 -
5.2. RX 复位	- 21 -
6. UART 接口协议	- 22 -
6.1. UART 字节帧	- 22 -
6.2. 通信协议	- 22 -
6.3. 写操作	- 23 -
6.4. 读操作	- 24 -
6.5. 波特率自适应	- 25 -
7. SPI 接口协议	- 26 -
8. 信号处理	- 27 -
8.1. ADC 输入信号	- 27 -
8.2. 片内温度测量	- 28 -
8.3. 计量数据的更新和稳定时间	- 29 -
9. 中断	- 30 -
9.1. 参数校验错误中断	- 31 -
9.2. 电压/电流检测中断	- 31 -
版本历史	- 32 -

图片列表

图 2-1 HCT5912 引脚分布图	- 6 -
图 2-2 HCT5912 封装尺寸	- 7 -
图 3-1 HCT591x 模块功能图	- 8 -
图 5-1 RX 复位时序图	- 21 -
图 6-1 UART 字节帧结构	- 22 -
图 6-2 读/写操作时的帧组结构	- 22 -
图 6-3 计量芯片的 UART 接口接收与发送一个字节帧的时序	- 22 -
图 6-4 UART 写操作流程	- 24 -
图 6-5 UART 读操作流程	- 25 -
图 7-1 SPI 数据流程图	- 26 -
图 7-2 SPI 数据流程图	- 26 -
图 8-1 电流输入方式_CT 采样	- 27 -
图 8-2 电流输入方式_锰铜分流器采样	- 27 -
图 8-3 电压输入方式_电压互感器	- 27 -
图 8-4 电压输入方式_电阻分压网络	- 28 -
图 8-5 温度传感器测温公式	- 28 -

表格列表

表 1-1	极限参数表.....	2
表 1-2	工作参数表.....	2
表 1-3	ESD/Latch-Up 性能指标.....	2
表 1-4	内部复位与电压检测参数.....	3
表 1-5	GPIO 参数表.....	3
表 1-6	时钟参数表.....	4
表 1-7	计量性能参数表.....	4
表 1-8	模拟性能参数表.....	4
表 2-1	引脚定义.....	6
表 4-1	寄存器地址表.....	11
表 4-2	SYS_CONF0 定义.....	14
表 4-3	SYS_CONF1 定义.....	15
表 4-4	SYS_CONF2 定义.....	16
表 4-7	参数校验寄存器.....	16
表 4-8	计量数据寄存器.....	17
表 4-9	系统状态寄存器.....	18
表 4-10	模拟控制寄存器.....	18
表 4-11	寄存器位置特性.....	20
表 6-1	UART 接口时序参数说明.....	22
表 6-2	写操作命令帧结构.....	23
表 6-3	写操作应答帧结构.....	24
表 6-4	读操作命令帧结构.....	24
表 6-5	读操作应答帧结构.....	24
表 7-1	SPI 数据帧结构.....	26
表 8-1	计量数据的更新时间及稳定时间.....	29
表 9-1	中断输出使能相关寄存器.....	30
表 9-2	中断标志相关寄存器.....	30
表 9-3	中断检测阈值寄存器.....	31

概述

HCT5912 为一款 UART/SPI 接口的低功耗高精度直流电能计量芯片。

主要指标

- 单电源供电，电源电压输入范围：2.6V~3.6V
- 提供欠压检测
- 低功耗设计
 - 正常工作时，芯片工作电流约 1.6mA
- 2 路独立的高精度、低零漂 Σ/Δ ADC：1 路电压、1 路电流
- 高计量精度
 - 电流 200:1 动态范围内，能量计量误差小于 0.1%
 - 6.4kHz 数据率，除直流能量外，还可计量 3.2kHz 内的谐波能量
- 提供如下数据
 - 电压/电流信号原始波形数据（6.4kHz 采样率）和有效值
 - 电压/电流信号的平均值，20ms 刷新率
 - 瞬时/平均的功率，瞬时值的刷新周期是 80ms。平均值的刷新周期是 320ms。
 - 瞬时/平均的电压/电流有效值，瞬时值的刷新周期是 20ms。平均值的刷新周期是 1280ms。
- 软件校表
 - 有效值增益校正和偏置补偿，功率的偏置补偿校正
- 中断检测功能
 - 快速电流过流和电压过压检测
 - 电源欠压检测
 - 寄存器配置参数自检
 - 如有发生异常，通过中断引脚输出中断信号，同时通过寄存器读取具体中断来源
- 晶体
 - 集成 4.9152MHz 的晶体起振电路
 - 内部集成起振电容
 - 具有晶体检测功能，如无晶体或者晶体损坏，自动切换到内部 RC 时钟
- 内部 RC 时钟
 - 集成 4.9152MHz 的内部 RC 时钟，支持无晶体应用
 - -40~85 度范围内，RC 时钟偏差 +/-1%
- 半双工通讯，支持波特率 2400/4800/9600/19200
- 支持无晶体应用，UART 通讯时波特率自适应，且同步测频，提供内部时钟频率偏差系数供 MCU 读取
- 提供 SPI 数据接口，可读取电流、电压信号波形数据。
- 高精度 ADC 基准电压：10ppm/°C TYP
- 工作温度：-40~+125°C（HCT5912）
- 储存温度：-40~+125°C
- 封装形式：QFN16

1. AC 与 DC 特性

1.1. 极限参数

当外部输入或是环境参数超过下面条件时，很可能对芯片造成损坏或是缩短其使用寿命。下表只代表会造成损坏的范围，不代表可以正常工作的范围。

表 1-1 极限参数表

名称	参数	最小值	最大值	单位
AVDD-AVSS	电源电压	-0.3	+3.8	V
TS	存储温度	-50	+150	°C
TJ	工作温度	-40	+135	°C

1.2. 工作参数

表 1-2 工作参数表

名称	参数	最小值	典型值	最大值	单位
AVDD	工作电压	2.6	3.3	3.6	V
VDDIO	IO 口电压	-0.3	3.3	3.6	V
I _{ACTIVE}	工作电流		1.6		mA
TA	温度范围	-40	25	125	°C

1.3. ESD/LU 性能

表 1-3 ESD/Latch-Up 性能指标

名称	参数	最小值	最大值	单位
----	----	-----	-----	----

ESD (HBM)	HBM 模型的 ESD 放电电压	-4000	4000	V
Latch-Up	Latch-Up 测试电流 (@85°C)	-200	200	mA

1.4. 内部复位与电压检测参数

表 1-4 内部复位与电压检测参数

名称	参数	最小值	典型值	最大值	单位
t_{RST}	RX 复位时间		20		ms
V_{POR}	复位电压 (低于此电压芯片处于复位状态)		2.2		V
V_{LVD}	低压检测电压 (低于此电压计量功能停止)		2.6		V

1.5. GPIO 参数

表 1-5 GPIO 参数表

名称	参数	VDDIO	最小值	典型值	最大值	单位
V_{IH}	输入信号高阈值	3.3	2			V
V_{IL}	输入信号低阈值	3.3	0		0.7	V
I_{IH}	输入高电平的电流	3.3			+1	uA
I_{IL}	输入低电平的电流	3.3	-1			uA
V_{OL}	输出低电平 (@IOUT 电流条件)	3.3	-0.3		0.7	V
V_{OH}	输出高电平 (@IOH 电流条件)	3.3	2.0		3.6	V
IOUT	IO 输出电流	3.3		10		mA

1.6. 时钟参数

表 1-6 时钟参数表

名称	参数	最小值	典型值	最大值	单位
VDD _{XTAL}	外部晶振工作电压	2.9	3.3	3.6	V
IVDD _{XTAL}	外部晶振工作电流		100		uA
f _{XTAL}	外部晶振工作频率		4.9152		MHz
VDD _{RCOH}	RCOH 工作电压	2.9	3.3	3.6	V
f _{RCOH}	内部 RCOH 时钟频率		4.9		MHz

1.7. 计量性能参数

表 1-7 计量性能参数表

参数	最小值	典型值	最大值	单位	说明
计量带宽		3.2k		Hz	6.4kHz 波形数据率，带宽为波形数据率的一半
计量精度		0.1%			电流信号 1:200 动态范围

1.8. 模拟性能参数

表 1-8 模拟性能参数表

参数	最小值	典型值	最大值	单位	说明
ADC 输入信号幅度	-200 或 -REF/Gain		REF/Gain	mV	
I 直流值零漂	-1000	-200	600		DATA_IDCINST 短路数据
U 直流值零漂	-4500	-3000	-1500		DATA_UDCINST 短路数据
基准电源电压(REF)		1.2		V	

基准电源温度系数		10		ppm/°C	
基准电压电源抑制比		80		dB	
工作功耗		1.6		mA	

2. 引脚定义和封装

2.1. 引脚定义

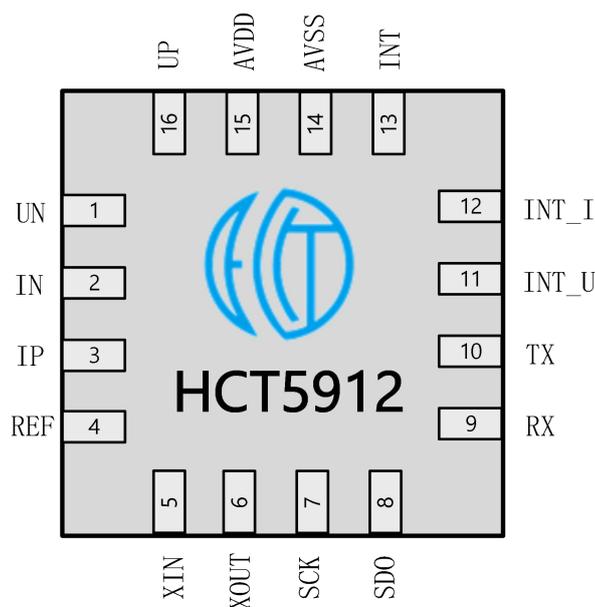


图 2-1 HCT5912 引脚分布图

表 2-1 引脚定义

HCT5912	名称	类型	描述
1	UN	IO	电压信号输入负端
2	IN	IO	电流信号输入负端
3	IP	IO	电流信号输入正端
4	REF	IO	基准源输出，片外去耦电容建议 $\geq 1\mu\text{F}$ ，并尽量靠近 REF 引脚
5	XIN	IO	晶体输入
6	XOUT	IO	晶体输出
7	SCK	IO	SPI 时钟输入

8	SDO	IO	SPI 数据输出
9	RX	IO	串口接口
10	TX	IO	串口发送
11	INT_U	IO	电压过压中断引脚
12	INT_I	IO	电流过流中断引脚
13	INT	IO	汇总中断引脚
14	AVSS	GND	系统地
15	AVDD	VDD	芯片电源输入，电压范围 2.6~3.6V。片外去耦电容建议 $\geq 1\mu\text{F}$ ，并尽量靠近 AVDD 引脚
16	UP	IO	电压信号输入正端

2.2. 封装尺寸

QFN16

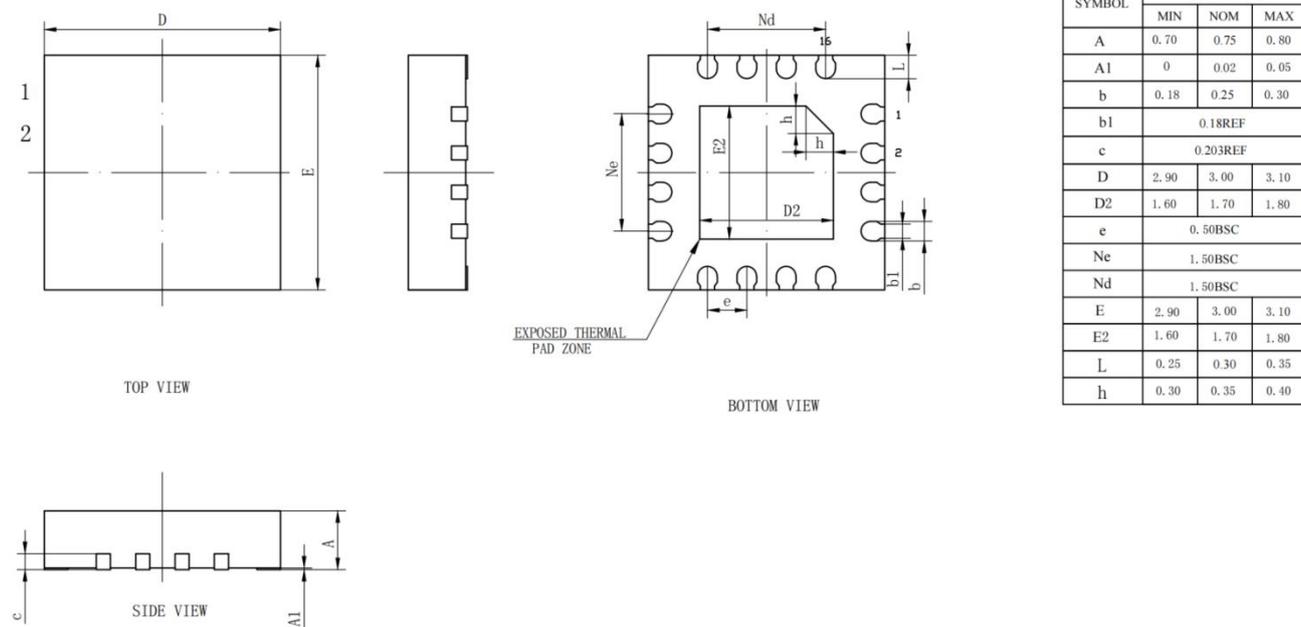


图 2-2 HCT5912 封装尺寸

3. 功能模块

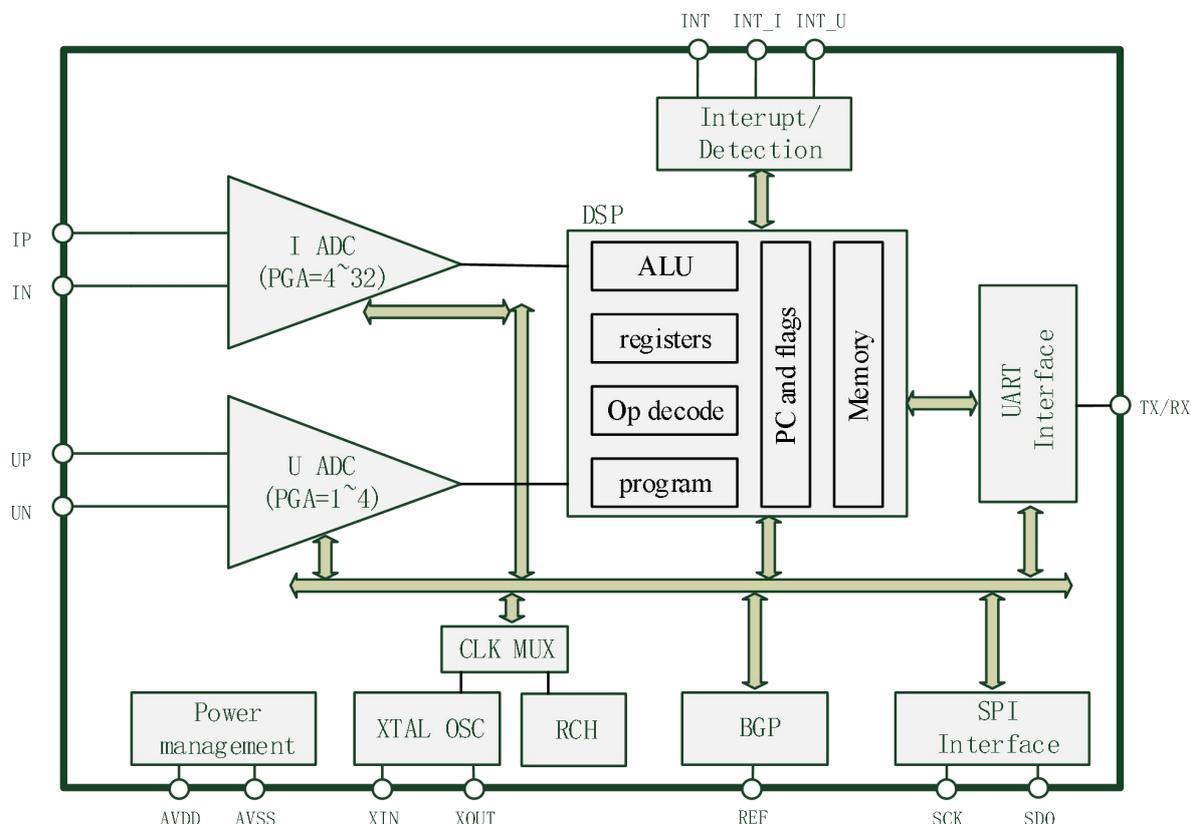


图 3-1 HCT591x 模块功能图

如上图所示，芯片内部包含电源管理模块、晶体起振模块、高频 RCH 时钟、内部基准源（BGP）模块、高精度 Sigma-Delta ADC 模块、数字 DSP 模块、SPI 接口模块、UART 接口模块、中断模块。

3.1. 电源管理模块

芯片由 AVDD/AVSS 单电源供电，正常工作的供电范围为 2.6~3.6V。

电源模块内置上电复位（POR）电路，在上电之初将为芯片提供复位信号。当电源电压掉至 2.3V 以下时，芯片也将处于复位状态。

芯片除提供 POR/BOR 复位外，还提供 RX 复位机制，详见复位章节。

电源模块内还集成了欠压监测电路，当监测到 AVDD 电源低于 2.6V 时，SYS_CONF2 寄存器里的欠压标志位(0x01F6,bit2)将置'1'，同时芯片的 INT 管脚将输出'1'，提示有欠压发生。欠压位置'1'后，计量会自动停止，因此 MCU 应停止读取计量数据，等待供电电源恢复。

3.2. 晶体起振模块

芯片内部集成晶体起振模块，只需在 XIN/XOUT 引脚上接入一个晶体即可起振，晶体频率选用 4.9152MHz。

3.3. 高频 RCH 时钟

芯片内部集成 4.9MHz 的高频 RCH 时钟，该时钟作为晶体时钟的备份，如果晶体时钟因意外停止工作，在停振 200ms 之后，系统将自动切换到 RCH 时钟上。

芯片内部 RCH 时钟在 -40~85 度范围内随温度的频率变化小于 1%，但芯片之间的 RCH 频率存在固有偏差。芯片内部的 UART 接口模块，可在通讯时测量内部 RCH 的频率偏差，并提供给 MCU 使用。详见 UART 接口模块章节。

3.4. BGP 电路

芯片内置高精度带隙基准（BGP）电路，产生 1.2V 的基准电压。该基准电压温度系数的典型值为 10ppm/°C。

基准电压的温度系数可通过设置模拟寄存器里的 REFTRIM<2:0>进行微调。用户可根据实际应用当中，小批温度误差数据来选择 REFTRIM 的设置值。不同应用的硬件设计里如果所用元器件（特别是传感器）不同，元器件的温度系数有较大偏差的情况下，可以通过 REFTRIM<2:0>的设置值来得到较理想的计量误差温度特性。

3.5. 高精度 Sigma-Delta ADC

芯片内置两路高精度 Sigma-Delta ADC，其中一路对电流信号进行采样，可编程放大倍数为 4~32 倍。另一路对电压信号进行采样，可编程放大倍数为 4~8 倍。

高性能的低零漂 ADC 模块，可保证 1:200 动态范围内 0.1% 的能量计量误差。

3.6. DSP

数字 DSP 模块对两路 ADC 转换产生的高频量化码流先进行 CIC 滤波处理，并对两路 ADC 数据进行运算，得到功率、电流/电压的有效值等。详见 DSP 章节。

3.7. 中断

中断模块可处理电压信号过零、电压过压、电流过流、电源欠压、寄存器自检错误等事件，并提供 3 个输出引脚，其中 INT 为汇总中断脚，任何一个中断事件都有响应。INT_I 则只响应电流过流，INT_U 只响应电压过压。详见中断章节。

3.8. UART 接口

UART 接口部分详见 UART 接口协议章节

3.9. SPI 接口

SPI 接口部分详见 SPI 接口协议章节

4. 寄存器描述

4.1. 寄存器地址和描述

芯片内共有 57 个 24 或 32 bits 寄存器，可以通过读写帧的 ADDR，来选择要读取或是写入的位置，下表列出各个寄存器对应的地址与初始值。

表 4-1 寄存器地址表

地址	名称	类型	位宽	描述	初始值
0x01F4	SYS_CONF0	RW	32	系统控制寄存器	0x00000000
0x01F5	SYS_CONF1	RW	32	系统控制寄存器	0x00000000
0x01F6	SYS_CONF2	RW	32	系统控制寄存器	0x00000000
0x01F7	SYS_CONF3	RW	32	系统控制寄存器	0x00000000
0x0116	SYS_CKSUM	RW	22	配置参数校验寄存器	0x1A924A
0x0117	N/A	RW	22	N/A	0x000000
0x0118	N/A	RW	22	N/A	0x000000
0x0119	CONF_IAMPU	RW	22	I幅值检测上限阈值	0x000000
0x011A	CONF_IAMPD	RW	22	I幅值检测下限阈值	0x000000
0x011B	CONF_UAMPU	RW	22	U幅值检测上限阈值	0x000000
0x011C	CONF_UAMPD	RW	22	U幅值检测下限阈值	0x000000
0x011D	CONF_IGAIN	RW	22	I增益校正值	0x000000
0x011E	CONF_UGAIN	RW	22	U增益校正值	0x000000
0x011F	CONF_IDCCH	RW	22	I有效值补偿高位	0x000000
0x0120	CONF_IDCCL	RW	22	I有效值补偿低位	0x000000
0x0121	CONF_UDCCH	RW	22	U有效值补偿高位	0x000000
0x0122	CONF_UDCCL	RW	22	U有效值补偿低位	0x000000

0x0123	N/A	RW	22	N/A	0x000000
0x0124	N/A	RW	22	N/A	0x000000
0x0125	N/A	RW	22	N/A	0x000000
0x0126	N/A	RW	22	N/A	0x000000
0x0127	N/A	RW	32	N/A	0x00000000
0x0129	CONF_PDCC	RW	32	P补偿寄存器	0x00000000
0x012B	N/A	RW	32	N/A	0x00000000
0x012D	N/A	R	32	N/A	0x00000000
0x012F	N/A	R	32	N/A	0x00000000
0x0131	N/A	R	32	N/A	0x00000000
0x0133	DATA_PAVG	R	32	平均P寄存器	0x00000000
0x0135	N/A	R	32	N/A	0x00000000
0x0137	DATA_IAVG	R	32	平均I有效值寄存器	0x00000000
0x0139	DATA_UAVG	R	32	平均U有效值寄存器	0x00000000
0x013B	N/A	R	32	N/A	0x00000000
0x013D	DATA_PINST	R	32	P寄存器	0x00000000
0x013F	N/A	R	32	N/A	0x00000000
0x0141	N/A	R	22	N/A	0x000000
0x0142	N/A	R	22	N/A	0x000000
0x0143	DATA_IINST	R	22	I有效值	0x000000
0x0144	DATA_UINST	R	22	U有效值	0x000000
0x0145	N/A	R	22	N/A	0x000000
0x0146	N/A	R	22	N/A	0x000000

0x0147	DATA_IDCINST	R	22	I直流值	0x000000
0x0148	DATA_UDCINST	R	22	U直流值	0x000000
0x0149	N/A	R	22	N/A	0x000000
0x014A	N/A	R	22	N/A	0x000000
0x014B	N/A	R	22	N/A	0x000000
0x014C	N/A	R	22	N/A	0x000000
0x014D	DATA_ISQH	R	22	I有效值平方高位	0x000000
0x014E	DATA_ISQL	R	22	I有效值平方低位	0x000000
0x014F	DATA_USQH	R	22	U有效值平方高位	0x000000
0x0150	DATA_USQL	R	22	U有效值平方低位	0x000000
0x0151	N/A	R	22	N/A	0x000000
0x0152	N/A	R	22	N/A	0x000000
0x0153	N/A	R	22	N/A	0x000000
0x0154	N/A	R	22	N/A	0x000000
0x0155	N/A	R	22	N/A	0x000000
0x01FE	SYS_STS0	R	32	系统状态寄存器	0x00000000
0x01FF	ANA_CONF0	RW	32	模拟控制寄存器	0x00000000

4.2. 系统控制寄存器

4.2.1. SYS_CONF0

D31	D30	D29	D28	D27	D26	D25	D24

D23	D22	D21	D20	D19	D18	D17	D16
					WVOEN	INTPSEL	
D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8
D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
					ION	UON	MTEN

表 4-2 SYS_CONF0 定义

位置	名称	类型	描述	初始值
bit[31:19]			保留	0
bit18	WVOEN	RW	0: 禁止波形数据 SPI 串行输出, 1: 使能	0
bit17	INTPSEL	RW	0: 三个中断输出 IO 高电平有效; 1: 三个中断输出 IO 低电平有效	0
bit[16:3]			保留	0
bit2	ION	RW	0: 关闭 I 通路的计算; 1: 开启 I 通路的计算	0
bit1	UON	RW	0: 关闭 U 通路的计算; 1: 开启 U 通路的计算	0
bit0	MTEN	RW	0: 关闭计量; 1: 开启计量	0

4.2.2. SYS_CONF1

D31	D30	D29	D28	D27	D26	D25	D24
				IATHL			
D23	D22	D21	D20	D19	D18	D17	D16
IATHH				UATHL			
D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8
UATHH							

D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
				IAEN	UAEN		

表 4-3 SYS_CONF1 定义

位置	名称	类型	描述	初始值
bit[31:28]			保留	0
bit[27:24]	IATHL	RW	I 幅值下限检测点数, I 幅值连续此点数超过 I 幅值下限阈值, 会产生 I 幅值下限检测事件	0
bit[23:20]	IATHH	RW	I 幅值上限检测点数, I 幅值连续此点数超过 I 幅值上限阈值, 会产生 I 幅值上限检测事件	0
bit[19:16]	UATHL	RW	U 幅值下限检测点数, U 幅值连续此点数超过 U 幅值下限阈值, 会产生 U 幅值下限检测事件	0
bit[15:12]	UATHH	RW	U 幅值上限检测点数, U 幅值连续此点数超过 U 幅值上限阈值, 会产生 U 幅值上限检测事件	0
bit[11:4]			保留	0
bit3	IAEN	RW	0: 关闭 I 幅值检测; 1: 开启 I 幅值检测	0
bit2	UAEN	RW	0: 关闭 U 幅值检测; 1: 开启 U 幅值检测	0
bit[1:0]			保留	0

4.2.3. SYS_CONF2

D31	D30	D29	D28	D27	D26	D25	D24
D23	D22	D21	D20	D19	D18	D17	D16
D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8
						IALF	IAHF

D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
UALF	UAHF				BOF	CCF	MEF

表 4-4 SYS_CONF2 定义

位置	名称	类型	描述	初始值
bit[31:10]			保留	0
bit9	IALF	RW	I 幅值下限检测事件标志。写 1 清空	0
bit8	IAHF	RW	I 幅值上限检测事件标志。写 1 清空	0
bit7	UALF	RW	U 幅值下限检测事件标志。写 1 清空	0
bit6	UAHF	RW	U 幅值上限检测事件标志。写 1 清空	0
bit[5:3]			保留	0
bit2	BOF	RW	欠压标志。写 1 清空。欠压时，计量会自动停止。	0
bit1	CCF	RW	计量配置参数校验错误标志。写 1 清空	0
bit0	MEF	RW	SRAM BIST 检测错误标志。写 1 清空	0

4.3. 配置参数校验寄存器

校验寄存器默认初始状态下，参数配置自检一旦报错，通过引脚 INT 默认输出高电平。因此配置完参数校验寄存器后，需累加 0x0117~0x012C 校表参数值，再加上 0x1A924A，写入此地址。

表 4-7 参数校验寄存器

地址	名称	类型	位宽	描述	初始值
0x0116	SYS_CKSUM	RW	22	配置完参数校验寄存器后，需累加 0x0117~0x012C 校表参数值，再加上 0x1A924A，写入此地址。	0x1A924A

4.4. 计量数据寄存器

说明：下表中的平均 I/U 有效值是 I/U 有效值的 4 倍，平均基波 I/U 有效值是基波 I/U 有效值的 4 倍。其余项目，例如 P/Q 的平均值和非平均值是相等的，只是平均值更稳定。

表 4-8 计量数据寄存器

地址	名称	类型	位宽	描述	初始值
0x0133	DATA_PAVG	R	32	平均P寄存器	0x00000000
0x0137	DATA_IAVG	R	32	平均I有效值寄存器	0x00000000
0x0139	DATA_UAVG	R	32	平均U有效值寄存器	0x00000000
0x013D	DATA_PINST	R	32	P寄存器	0x00000000
0x0143	DATA_IINST	R	22	I有效值	0x000000
0x0144	DATA_UINST	R	22	U有效值	0x000000
0x0145	DATA_IWAVE	R	22	I波形值	0x000000
0x0146	DATA_UWAVE	R	22	U波形值	0x000000
0x0147	DATA_IDCINST	R	22	I直流值	0x000000
0x0148	DATA_UDCINST	R	22	U直流值	0x000000
0x014D	DATA_ISQH	R	22	I有效值平方高位	0x000000
0x014E	DATA_ISQL	R	22	I有效值平方低位	0x000000
0x014F	DATA_USQH	R	22	U有效值平方高位	0x000000
0x0150	DATA_USQL	R	22	U有效值平方低位	0x000000

4.5. 系统状态寄存器

D31	D30	D29	D28	D27	D26	D25	D24
XTLF							

D23	D22	D21	D20	D19	D18	D17	D16
D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8
		BDR		CKERR			
D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
CKERR							

表 4-9 系统状态寄存器

位置	名称	类型	描述	初始值
bit31	XTLF	R	晶振时钟的状态。0：正常，1：缺失或者停振	
bit[30:14]			保留	
bit[13:12]	BDR	R	UART 所选择的波特率指示。 0：2400，1：4800，2：9600，3：19200	
bit[11:0]	CKERR	R	UART 测量到的本机时钟偏差值	

4.6. 模拟控制寄存器

D31	D30	D29	D28	D27	D26	D25	D24
D23	D22	D21	D20	D19	D18	D17	D16
			XTALPD		TEMP_EN	ADCUPD	ADCIPD
D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8
BGPCHOPN	REFTRIM<2>	REFTRIM<1>	REFTRIM<0>	OPDET			
D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
IT<1>	IT<0>	HP	SHORT_I	GU		GI<1>	GI<0>

表 4-10 模拟控制寄存器

位置	名称	类型	描述	初始值
bit[31:21]			保留位, 必须为 0	0
bit[20]	XTALPD	R/W	晶体起振电路关闭 1:关闭; 0:开启 如果使用内部 RC 时钟, 建议将该 BIT 置 1, 以节省功耗; 如果使用外部晶体或者从 XIN 引脚输入时钟, 则需将该 BIT 置 0。	0
bit[19]			保留位, 必须为 0	0
bit[18]	TEMP_EN	R/W	温度传感器使能 1:开启; 0:关闭。开启后, 电压 ADC 将用于测量芯片内置的温度传感器, 传感器信号为直流值, 需从电压 ADC 的直流寄存器读取温度值	0
bit[17]	ADCUPD	R/W	电压 ADC 开关 0:开启; 1:关闭	0
bit[16]	ADCIPD	R/W	电流 ADC 开关 0:开启; 1:关闭	0
bit[15]		R/W	保留位, 必须为 0	0
bit[14:12]	REFTRIM<2:0>	R/W	计量误差温度系数调节, 如所选择数值为负值, 则说明温度越高, 误差越低。 000: 0ppm; 001:-40ppm; 010:-80ppm; 011:-120ppm; 100:+160ppm; 101:+120ppm; 110:+80ppm; 111:+40ppm;	0
bit[11]	OPDET	R/W	ADC 开路监测功能使能 1:开启; 0:关闭 开启后, 如电流/电压输入信号线断开, 则 I 直流值/U 直流值将大幅增加, 提示发生了输入信号开路。如设置的过流/过压检测的阈值, 则可触发相应中断	0
bit[10:8]			保留位, 必须为 0	0
bit[7:6]	IT<1:0>	R/W	模拟全局偏置电流调整 01:+33%; 00:0%; 10:-50%; 11:禁止;	0

bit[5]	HP	R/W	配置为 1, 可提高 ADC 性能, 实现更宽的计量动态范围	0
bit[4]	SHORT_I	R/W	ADC 端短路 1:内部短路; 0:正常模式	0
bit[3]	GU	R/W	电压 ADC 增益 0:8; 1:4	0
bit[2]			保留位, 必须为 0	0
bit[1:0]	GI<1:0>	R/W	电流 ADC 增益 00: 32; 01:16; 10:8; 11:4	0

4.7. 寄存器特性

在所有 512 个寄存器地址中, 不同地址会有不同行为, 其中某些位置为禁止存取位置, 下表列出所有寄存器位置特性。

22 位寄存器: 有效值的平方, 有效值补偿的最高 4 位是符号位, 都在高 22 位。其他都是最高 2 位是符号位。增益的最高两位也是符号位。如 0x0FFFFFF 代表增益的最大值 (2), 0x300000 代表增益的最小值 (-2)。

32 位寄存器: 都是最高 2 位是符号位。

表 4-11 寄存器位置特性

地址	特性
0~0x126, 0x141~0x1DF	22 bits 寄存器, 当写入时, bit[31:22]会被忽略, 只有 bit[21:0]会被写入, 当读取时, bit[31:22]均为 bit[21]的延展
0x127~0x13F 奇数地址	32 bits 寄存器, 当连续读取时, 会自动跳过中间不连续部分, 举例来说, 由 295 开始连续读取三笔, 会读到 295, 297, 299 三个位置数据
0x128~0x140 偶数地址	禁止存取地址, 所以以这些地址为目标的写或是读操作都会被忽略, 不会有应答帧
0x1E0~0x1FF	32 bits 寄存器

5. 复位

芯片有 2 个复位来源：上电复位（POR）和 RX 复位，两者都可以复位芯片中的全部电路。

5.1. 上电复位（POR）

内部上电复位电路会监测 AVDD 的输入电压。当 AVDD 的输入电压低于 2.6V 时，系统发生 POR 复位并一直处于复位状态；当 AVDD 输入电压高于 2.6V 时，复位信号释放，1 μ s 后，系统退出复位状态，进入初始状态。

在复位状态，外部 MCU 及计量 DSP 不能访问 RAM。系统退出复位状态后，RAM 会进行自检，持续时间约为 1.25ms，自检通过后 RAM 可被自由访问。

在复位状态，UART 接口处于 IDLE 模式。系统退出复位状态后，UART 接口立即工作。

5.2. RX 复位

当 RX 引脚持续输入 20ms 的低电平时，计量芯片内部会产生复位。之后，RX 引脚输入高电平，1 μ s 后，系统退出复位状态，进入初始状态。

在复位状态，外部 MCU 及计量 DSP 不能访问 RAM。系统退出复位状态后，RAM 会进行自检，持续时间约为 1.25ms。同时，串口进行波特率自适应初始化，持续时间为 30ms，此后，串口可以正常通讯。

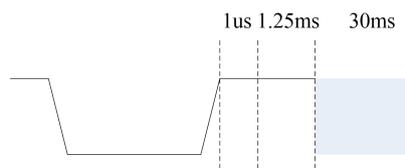


图 5-1 RX 复位时序图

6. UART 接口协议

UART 接口分为两种操作，一种是用来写入寄存器的写操作，另一种是用来读取寄存器的读操作，两种操作是使用命令帧第一个字节的 bit[5:4]来区分，若为 0b01，则为写操作，若为 0b10，则为读操作。

接收帧组的时候，首个命令字节只有 4 种可能值，分别是 0x19/0xD9 对应写操作，0x29/0xE9 对应读操作，如果是受干扰导致接收到的首个命令字节不是上述 4 个，即使奇偶校验值也是通过的，也不予处理，芯片将退回等待状态。

6.1. UART 字节帧

字节帧如下图所示，UART 字节帧从低到高分别是开始位（“0”，1-bit, START）、数据（8-bit, B0~B7）、奇校验位（1-bit, P）和停止位（“1”，1-bit, STOP）。



图 6-1 UART 字节帧结构

6.2. 通信协议

如下图所示，MCU 对计量芯片内的数据读/写操作由 7 个字节组成的帧组来完成。

命令字节	地址字节	数据 0	数据 1	数据 2	数据 3	校验和
------	------	------	------	------	------	-----

图 6-2 读/写操作时的帧组结构

在收到 MCU 发送的读、写命令帧后，计量芯片将向 MCU 发送不同结构的应答帧。

下图是计量芯片的 UART 接口（RX 和 TX）接收与发送一个字节帧的时序。

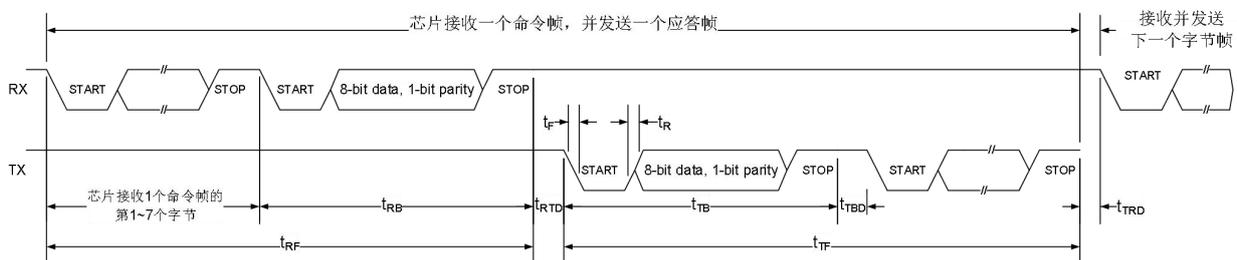


图 6-3 计量芯片的 UART 接口接收与发送一个字节帧的时序

表 6-1 UART 接口时序参数说明

时序参数	说明
------	----

时序参数	说明
t_{RB}/t_{TB}	<p>计量芯片接收/发送完一个字节实际所需的时间。</p> $t_{RB} = t_{TB} = \frac{11}{\text{baudrate}}$ <p>其中, baudrate 为计量芯片的 UART 接口实际的波特率。</p>
t_{RF}	如果 RX 引脚接收一个命令帧, 该命令帧中的字节间, 存在大于等于 20ms 的时间间隔, 则认为发生字节超时。发生超时后, UART 接口进入 IDLE 模式, 等待下一个命令帧。
t_{RTD}	<p>计量芯片的 RX 引脚完成一个命令帧的接收与 TX 引脚开始发送应答帧之间的延时。</p> $0\text{ms} \leq t_{RTD} \leq 20\text{ms}$
t_{TF}	计量芯片的 TX 引脚发送一个应答帧实际所需的时间。进行读操作或写操作时, t_{TF} 由读操作与写操作的应答帧的结构决定。
t_{TBD}	<p>计量芯片的 TX 引脚发送的一个应答帧里连续两个字节之间的延时。</p> $0\text{ms} \leq t_{TBD} \leq 20\text{ms}$
t_{TRD}	<p>计量芯片的 TX 引脚完成一个应答帧的发送与 RX 引脚开始接收下一个命令帧之间的延时。</p> <p>建议大于 1ms。</p>
t_R	波形上升沿的时间, 建议不要超过 500ns。
t_F	波形下降沿的时间, 建议不要超过 500ns

6.3. 写操作

写操作命令帧由 7 个字节组成, 每次只能写入 1 个位置, 下表为各个字节的组成, 请注意, 在实际 UART 传输时, bit0 会先传, bit7 会后传。

表 6-2 写操作命令帧结构

顺序	字节	B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1	B0
1	命令	ADDR[8]	ADDR[8]	0	1	1	0	0	1
2	地址	ADDR[7:0]							
3	数据 0	DATA[7:0]							
4	数据 1	DATA[15:8]							

5	数据 2	DATA[23:16]
6	数据 3	DATA[31:24]
7	校验和	CHECKSUM[7:0]= 0x5A + 字节 1~字节 6 的和

当芯片接收到写操作后，若 CHECKSUM 检查正确，就会将 DATA[31:0]写入 ADDR[8:0]，同时会回复写入应答帧，写入应答帧由 3 个字节组成。

表 6-3 写操作应答帧结构

顺序	字节	B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1	B0
1	命令	ADDR[8]	ADDR[8]	0	1	1	0	0	1
2	地址	ADDR[7:0]							
3	校验和	CHECKSUM[7:0]= 0x5A + 字节 1~字节 2 的和							

下图显示完整的 UART 写操作流程

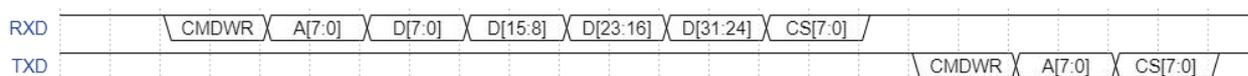


图 6-4 UART 写操作流程图

6.4. 读操作

读取命令帧由 7 个字节组成，每次只能写入一个位置，下表为各个字节的组成。

表 6-4 读操作命令帧结构

顺序	字节	B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1	B0
1	命令	ADDR[8]	ADDR[8]	1	0	1	0	0	1
2	地址	ADDR[7:0]，读取起始位置							
3	数据 0	LENGTH[7:0]，当 LENGTH = 0 or 1 时，都是读取一个数据							
4	校验和	CHECKSUM[7:0]= 0x5A + 字节 1~字节 3 的和							

当芯片接收到读操作后，若 CHECKSUM 检查正确，就会开始用读取应答帧回复，读取应答帧长度是由读取长度决定，下图为读取应答帧格式，其中 N = LENGTH。

表 6-5 读操作应答帧结构

顺序	字节	B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1	B0
1	命令	ADDR[8]	ADDR[8]	1	0	1	0	0	1
2	地址	ADDR[7:0]							
3	数据 1-0	DATA[7:0] at ADDR[8:0]							
4	数据 1-1	DATA[15:8] at ADDR[8:0]							
5	数据 1-2	DATA[23:16] at ADDR[8:0]							
6	数据 1-3	DATA[31:24] at ADDR[8:0]							
7	数据 2-0	DATA[7:0] at ADDR[8:0] + 1							
8	数据 2-1	DATA[15:8] at ADDR[8:0] + 1							
9	数据 2-2	DATA[23:16] at ADDR[8:0] + 1							
10	数据 2-3	DATA[31:24] at ADDR[8:0] + 1							
		...							
$3+(N-1)*4$	数据 N-0	DATA[7:0] at ADDR[8:0] + N - 1							
$4+(N-1)*4$	数据 N-1	DATA[15:8] at ADDR[8:0] + N - 1							
$5+(N-1)*4$	数据 N-2	DATA[23:16] at ADDR[8:0] + N - 1							
$6+(N-1)*4$	数据 N-3	DATA[31:24] at ADDR[8:0] + N - 1							
$3+N*4$	校验和	CHECKSUM[7:0]= 0x5A + 上面所有字节的和							

请注意，当读取地址超过 0x1FF 后，会绕回 0x000 继续读，直到完成整个读操作。

下图显示完整的 UART 读操作流程：

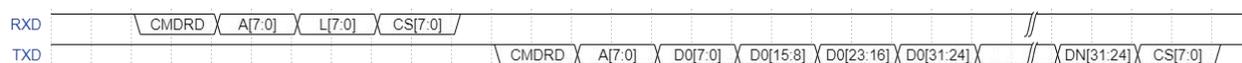


图 6-5 UART 读操作流程图

6.5. 波特率自适应

芯片支持四种波特率，2400/4800/9600/19200，通讯后将自动检测波特率并适应。

7. SPI 接口协议

SPI 接口用来当做 ADC 数据输出使用，只有时钟输入与数据输出两个信号。通过 UART 配置寄存器 WVOEN=1，使能 SPI 输出后，每次内部 ADC 转换完成，会先将 SDO 拉到 0，等接收到一个 Dummy byte 后，再将两笔 ADC 数据输出到 SDO 上。两笔 ADC 数据各 22 bits，其中高 2 位为符号位，数据会在后面补 0 后各以 24 bits 方式输出，最后一个字节为 CHECKSUM，读完数据后，SDO 将恢复高阻态并被上拉电阻拉高，等到下一个数据完成后再拉低 SDO。

当 SCK 预设高时，在最后一笔数据读完后，需要至少多打一个时钟(从方便角度，可多打一个字节)以确定 SDO 正常切换为高阻抗，下图为范例波形。

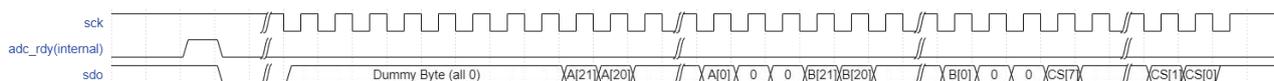


图 7-1 SPI 数据流程图

若 SCK 预设低时，则不须多打时钟，下图为范例波形。

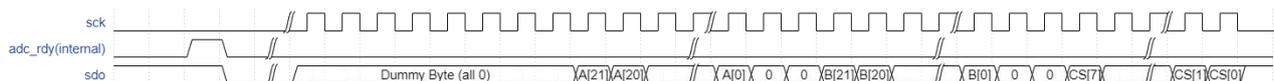


图 7-2 SPI 数据流程图

下表为各个字节内容描述，每次输出固定为 8 个字节：

表 7-1 SPI 数据帧结构

顺序	B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1	B0
1	Dummy Byte, 首字节, 全部为 0							
2	ADCA[21:14]							
3	ADCA[13:6]							
4	ADCA[5:0]						0	0
5	ADCB[21:14]							
6	ADCB[13:6]							
7	ADCB[5:0]						0	0
8	CHECKSUM[7:0]= 0x5A + 字节 2~字节 7 的和							

8. 信号处理

8.1. ADC 输入信号

电流信号源包括电流互感器（CT）和锰铜分流器。互感器信号采用全差分输入结构，如下图所示；锰铜信号的接入方式和 CT 信号相同。

图中 RC 滤波的电容要尽可能接近芯片相应引脚，且电容的接地点与芯片地引脚之间需有大面积的敷地相连。如有必要，还可在芯片两个 ADC 信号引脚之间再跨接一个电容 C_x 。

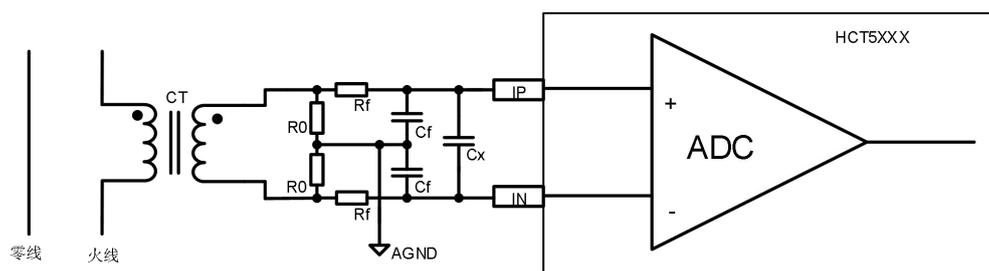


图 8-1 电流输入方式_CT 采样

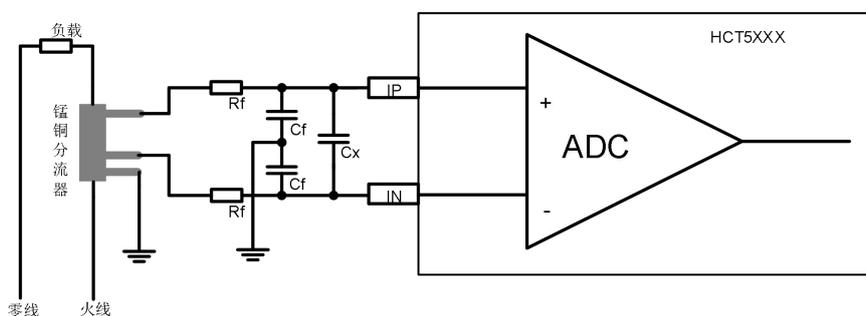


图 8-2 电流输入方式_锰铜分流器采样

电压信号源包括电压互感器和电阻分压。电压信号输入的接线方式见下图。

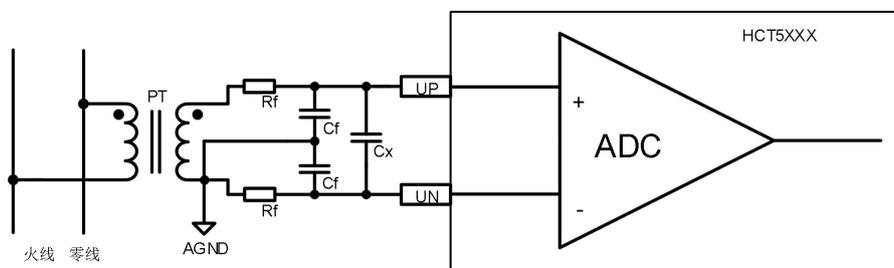


图 8-3 电压输入方式_电压互感器

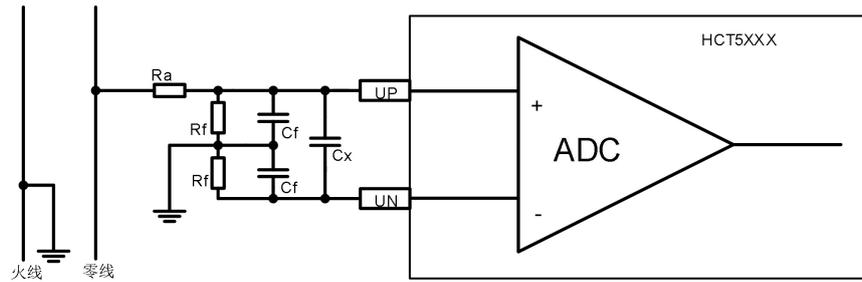


图 8-4 电压输入方式_电阻分压网络

电流和电压信号通道允许输入的最大范围是±200mV，差分结构下是±400mV。除 IO 处的限制外，输入信号乘模拟增益（电流 ADC 增益和电压 ADC 增益）后的最大幅值不应超过芯片的基准电压，且最好留有一定冗余度。假设最大电流信号的有效值为 A，则要求：

$$PGA * A * \sqrt{2} < 1.1V$$

公式 8-1

电压信号同理。

8.2. 片内温度测量

芯片内的电压 ADC 可复用为测量温度传感器，将模拟控制寄存器的 BIT18 配置为‘1’将开启芯片内置的温度传感器，同时电压 ADC 将用于测量此温度传感器。传感器信号为直流值，因此不可读取有效值获得温度。应读取地址 0x0148 的 U 直流值。此时有功、无功等计量数据都不会正确。如三相表需要测零线电流的，可考虑用额外一颗芯片，电流 ADC 用来测零线电流，电压 ADC 用于测量温度。

下面为温度传感器的测温公式，其中斜率系数是固定的，偏置系数则不一定是 497.95，不同的芯片有一定的差异，需要用户在出厂前做单点温度校正（例如已知芯片所处环境温度为 y，此时的 ADC 测温值为 x，则偏置系数 $y_0 = y + 0.000718 * x$ ），算出该颗芯片的偏置校正系数并存到 MCU 里。在单点校正温度后（如校正精确），-40~105 度范围内的测温误差在 2 度左右。

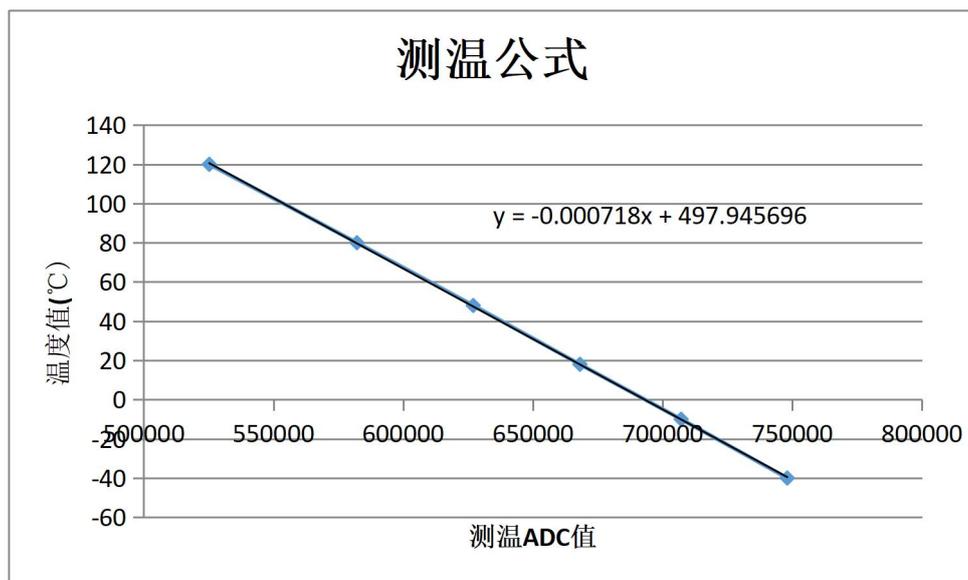


图 8-5 温度传感器测温公式

8.3. 计量数据的更新和稳定时间

表 8-1 计量数据的更新时间及稳定时间

数据类型	参数	更新时间 (ms)	稳定时间 (ms)
瞬时功率值	功率 P	80	320
平均功率值	功率 P	320	640
瞬时有效值	电压	20	120
	电流	20	120
平均有效值	电压	1280	2660
	电流	1280	2660

9. 中断

计量芯片的中断电路可根据不同的事件通过 3 个引脚产生中断信号，当中断输出使能时，相应的中断事件会在引脚上输出中断，向外部 MCU 提起中断，默认高电平有效。无论是否输出中断，用户均可读取中断标志位。

- 参数校验错误中断：通过 INT 管脚输出，不可屏蔽；
- 电压相关检测中断输出：通过 INT 和 INT_U 管脚输出，可屏蔽；
- 电流相关检测中断输出：通过 INT 和 INT_I 管脚输出，可屏蔽；

只要计量芯片不断电，中断电路在任何情况下均能工作。

表 9-1 中断输出使能相关寄存器

寄存器	位置	描述	默认值
SYS_CONF0	bit17	0: 三个中断输出 IO 高电平有效；1: 三个中断输出 IO 低电平有效	0
	bit16	0: 关闭过零点中断；1: 开启过零点中断	0
SYS_CONF1	bit[27:24]	I 幅值下限检测点数，I 幅值连续此点数超过 I 幅值下限阈值，会产生 I 幅值下限检测事件	0
	bit[23:20]	I 幅值上限检测点数，I 幅值连续此点数超过 I 幅值上限阈值，会产生 I 幅值上限检测事件	0
	bit[19:16]	U 幅值下限检测点数，U 幅值连续此点数超过 U 幅值下限阈值，会产生 U 幅值下限检测事件	0
	bit[15:12]	U 幅值上限检测点数，U 幅值连续此点数超过 U 幅值上限阈值，会产生 U 幅值上限检测事件	0
	bit[11:4]	保留	0
	bit3	0: 关闭 I 幅值检测；1: 开启 I 幅值检测	0
	bit2	0: 关闭 U 幅值检测；1: 开启 U 幅值检测	0
	bit[1:0]	保留	0

表 9-2 中断标志相关寄存器

寄存器	位置	描述	默认值
SYS_CONF2	bit9	I 幅值下限检测事件标志。写 1 清空	0
	bit8	I 幅值上限检测事件标志。写 1 清空	0

	bit7	U 幅值下限检测事件标志。写 1 清空	0
	bit6	U 幅值上限检测事件标志。写 1 清空	0
	bit[5:3]	保留	0
	bit1	计量配置参数校验错误标志。写 1 清空	0

9.1. 参数校验错误中断

计量芯片每 80ms 对校表参数的所有寄存器（0x0117~0x012C）的值进行一次累加，如果累加和加上 0x1A924A 与 SYS_CKSUM（0x0116）一致，则参数配置自检校验通过；否则，自检失败。

参数配置自检失败时，标志位 CHKERR（bit1, SYS_CONF2）置 1，同时在引脚 INT 上输出中断信号，向外部 MCU 提起参数配置自检错误中断，该中断输出不可被屏蔽。只有当上述寄存器的累加和符合自检要求，即自检通过时，该中断标志位自动清零。

在初始状态下，参数配置自检一律报错，引脚 INT 默认输出高电平。

9.2. 电压/电流检测中断

电压/电流检测中断分为幅值检测，幅值检测用于监控电压/电流上下限，记录幅值异常事件；

通过配置 SYS_CONF1 寄存器的 bit[3:0]，可开启检测功能；配置 SYS_CONF1 寄存器 bit[27:4]，可分别配置检测点数；配置 0x0117~0x011C 地址寄存器，可分别配置检测阈值。当电压/电流检测配置条件触发的情况下，INT_U/INT_I 引脚会输出中断信号，默认高电平，同时 SYS_CONF2 寄存器 bit[9:4]相应标志位置位，写 1 清空标志位，同步 INT_U/INT_I 引脚恢复低电平。

幅值检测是根据电流、电压信号的原始波形进行的，波形上带有直流分量。因此设置幅值检测上限阈值和下限阈值时，需要先读取电流、电压信号的直流值，即地址 0x0147/8 的值。在直流值基础上，加上要设置的限幅值为上限阈值，减掉限幅值为下限阈值。

表 9-3 中断检测阈值寄存器

地址	名称	类型	位宽	描述	初始值
0x0119	CONF_IAMPU	RW	22	I幅值检测上限阈值	0x000000
0x011A	CONF_IAMPD	RW	22	I幅值检测下限阈值	0x000000
0x011B	CONF_UAMPU	RW	22	U幅值检测上限阈值	0x000000
0x011C	CONF_UAMPD	RW	22	U幅值检测下限阈值	0x000000

版本历史

日期	版本号	描述
2023.10.9	1.0	初始版本
2023.10.31	1.1	增加模拟控制寄存器的 bit5 (HP) 描述
2024.11.6	1.2	更新封装信息 删除无关寄存器描述内容
2025.1.9	1.3	增加 IDC/UDC 零漂数据