

特点

- 电源
 - 芯片采用 3.3V 电源供电，电压输入范围 2.9V~3.6V
- 基准电压：1.210V（典型温度系数 10ppm/°C）
- 低功耗设计
 - V9260S 正常工作时计量芯片典型功耗 1.7mA（+/-10%）
- 计量特点：
 - V9260S 支持一路电流同时进行有功与无功电能计量，或者两路电流同时进行有功电能计量
 - 计量精度：
 - ◇ 满足 IEC 62053-21:2020/ IEC 62053-22:2020 和 IEC 62053-23:2020 的要求
 - ◇ 5000:1 动态范围内，有功、无功计量误差小于 0.1%
 - 提供各种测量数据：
 - ◇ 电压/电流信号直流分量
 - ◇ 电压/电流有效值的原始值/瞬时值/平均值
 - ◇ 有功/无功功率的原始值/瞬时值/平均值
 - ◇ 频率
 - ◇ 相位
 - 支持软件校表
 - ✓ 支持角差校正，最小调整步长±0.02%（PF=0.5L）
 - ✓ 支持有效值/功率比差校正
 - ✓ 支持有功/无功功率/有效值二次补偿（offset 校正）
 - ✓ 支持小电流加速校表
- 电流输入：锰铜分流器或 CT
- 波特率自适应 UART 接口，支持的波特率 1200bps~19200bps
- 无需外部晶振
- 工作温度：-40~+85°C
- 储存温度：-55~+150°C
- 封装
 - V9260S: 16-SOP

声明

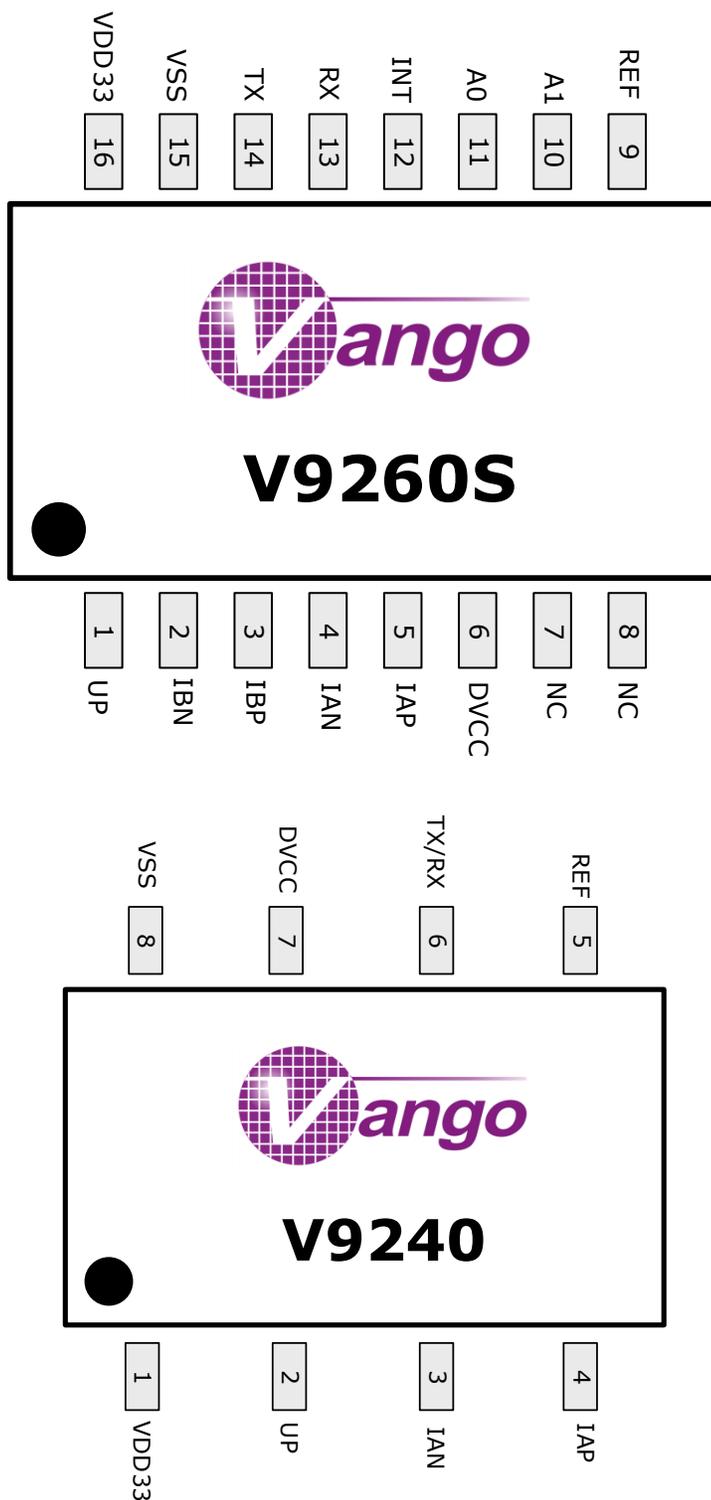
杭州万高科技股份有限公司保留对本手册所涉及的产品及相关的技术信息进行补正或更新的权利。使用本手册时，请您从我们的销售渠道或登录公司网站 <http://www.vangotech.com> 获取最新信息。

目录

特点	1
声明	2
目录	3
引脚分布图	5
性能参数	7
绝对最大额定值	9
功能框图	10
第 1 章 寄存器列表	11
1.1 系统控制寄存器	11
1.2 校表参数寄存器	14
1.3 校验和寄存器	16
1.4 软件复位寄存器	16
1.5 系统状态寄存器	16
1.6 计量数据寄存器	18
第 2 章 复位	21
2.1 复位相关寄存器	21
2.2 上电复位 (POR)	21
2.3 RX 复位	22
2.4 软件复位	23
第 3 章 时钟	24
3.1 高频 RC 振荡电路	25
3.2 低频 RC 振荡电路	25
第 4 章 工作模式	26
4.1 计量模式	26
第 5 章 电源系统	27
5.1 掉电监测电路	27
5.2 上电复位电路	28
第 6 章 电压基准电路 (Bandgap)	29
第 7 章 UART	30
7.1 字节结构	30
7.2 通信协议	30
7.2.1 写操作	31
7.2.2 读操作	32
7.2.3 广播写操作	33
第 8 章 信号处理	35
8.1 模拟信号输入	35
8.2 模拟/数字转换	37
8.3 角差校正	37
8.4 数字信号输入及去直流	39
8.5 有效值计算	40

8.5.1	有效值计算公式	41
8.5.2	有效值比差校正	41
8.5.3	有效值二次校正	41
8.6	功率计算	41
8.6.1	功率比差校正	43
8.6.2	功率二次校正	43
8.7	电压频率和相位测量	43
8.7.1	电压频率测量	43
8.7.2	电压相位测量	44
8.8	校表	44
8.8.1	计算公式	46
8.8.2	校表方法	48
第 9 章	中断	50
9.1	参数配置自检错误中断	51
9.2	电压过零点中断	52
第 10 章	封装尺寸图	53
图索引	54
表索引	55
版本更新说明	57

引脚分布图



V9260S	名称	类型	引脚描述
1	UP	输入	电压 P 端输入。
2	IBN	输入	B 路电流 N 端输入。
3	IBP	输入	B 路电流 P 端输入。
4	IAN	输入	A 路电流 N 端输入。
5	IAP	输入	A 路电流 P 端输入。
6	DVCC	输出	内部数字电源输出。外部应连接一个由一个 $\geq 4.7\mu\text{F}$ 和一个 $0.1\mu\text{F}$ 解耦电容组成的并联电路后，再接地。
7	NC		浮空
8	NC		浮空
9	REF	输入/输出	片上基准电压。应连接一个 $1\mu\text{F}$ 解耦电容后再接地。
10	A1	输入	当外部 MCU 需要与多颗计量芯片通信时,可通过这两个引脚设置每颗计量芯片(从机)的地址。外部 MCU 最多可与 4 颗 V9260S 通信。
11	A0	输入	
12	INT	输出	中断信号输出, 高电平有效。 该引脚总是输出 参数配置自检错误中断 , 可选择输出过零点中断、掉电中断。
13	RX	输入	UART 接收数据输入。 RX 引脚输入低电平持续时间大于 70ms 会使计量芯片内部产生 RX 复位。
14	TX	输出	UART 发送数据输出。
15	VSS	输入	地
16	VDD33	输入	3.3V 电源输入脚。外部应连接一个 $\geq 0.1\mu\text{F}$ 解耦电容。

性能参数

如无另外说明,表中所有最大/小值规格适用于整个推荐工作范围内($T=-40^{\circ}\text{C}\sim+85^{\circ}\text{C}$, $V_{DD33}=3.3\text{V}\pm 10\%$)。所有典型值规格在 $T=25^{\circ}\text{C}$, $V_{DD33}=3.3\text{V}$ 条件下测得。如无特别说明,所有电压值均为对地 (V_{SS}) 的相对值。

参数	最小	典型	最大	单位	说明
通道间相差					
PF=0.8 容性		± 0.05		度	
PF=0.5 感性		± 0.05		度	
有功功率计量误差		0.1		%	动态范围 5000:1 @ 25°C 基波频偏 $\pm 25\%$ 以内
有功功率计量带宽		1.6		kHz	
无功功率计量误差		0.1		%	动态范围 5000:1 @ 25°C 基波频偏 $\pm 25\%$ 以内
无功功率计量带宽		1.6		kHz	
秒平均电压有效值误差		1		%	动态范围 2000:1 @ 25°C 基波频偏 $\pm 25\%$ 以内
电压有效值带宽		1.6		kHz	
秒平均电流有效值误差		1		%	动态范围 5000:1 @ 25°C 基波频偏 $\pm 25\%$ 以内
电流有效值带宽		1.6		kHz	
频率测量					
范围	40		70	Hz	
误差		0.01		Hz	
模拟输入信号					
单端输入信号			± 200	mV	峰值
ADC 性能					
直流失调			10	mV	
有效位数		23		BIT	包括符号位
信号带宽 (-3dB)		1.6		kHz	
片上参考电压					
偏差	-18		18	mV	@ 25°C
输出电压		1.210		V	
电源抑制比		80		dB	
温度系数		10	30	ppm/ $^{\circ}\text{C}$	

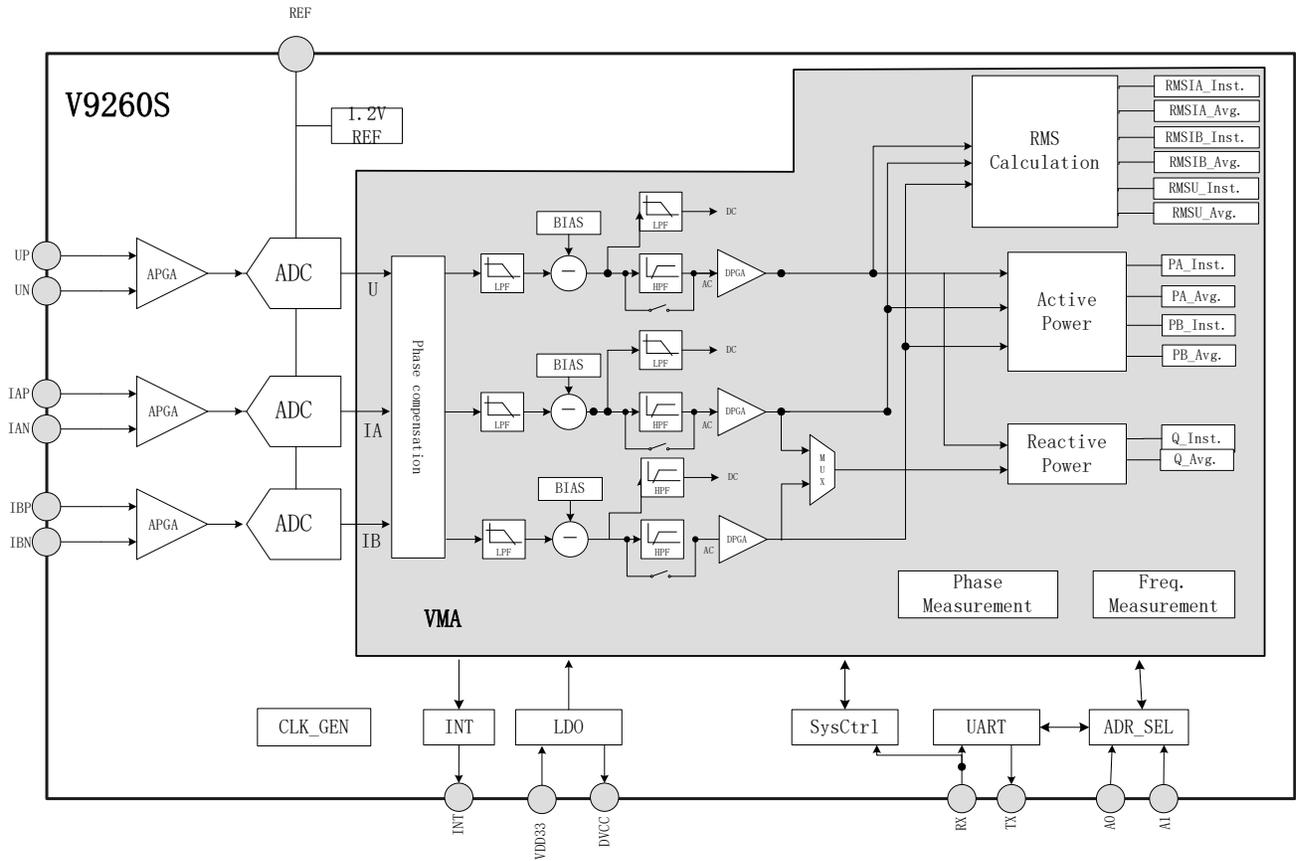
参数	最小	典型	最大	单位	说明
电源输入	2.9	3.3	3.6	V	
POR 检测门限		1.45		V	偏差为±10%
掉电检测门限	2.5	2.7	2.9	V	
数字电源输出 (DVCC)					
电压		1.8		V	可编程, 偏差为±10%
电流			35	mA	
内部高频 RC 时钟		3.2768		MHz	偏差在±20%以内
数字 IO, 输出	TX/INT				
输出高电平, V _{OH}	1.7			V	
I _{SOURCE}			8	mA	8mA 电流短时间内不会对计量芯片造成损坏; 长时间大于 8mA 的电流会对计量芯片造成损坏。
输出低电平, V _{OL}	0		0.7	V	
I _{SINK}			8	mA	
数字 IO, 输入	RX/A0/A1				
输入高电平, V _{INH}	2.0		3.6	V	
输入低电平, V _{INL}	-0.3		0.7	V	
输入电流, I _{IN}			1	μA	
输入电容, C _{IN}			20	pF	
UART 通信速率	1200		19200	bps	波特率自适应

绝对最大额定值

超出下列最大/最小值的工作条件可能会造成计量芯片的永久性损伤。

参数	最小	最大	单位	说明
数字电源电压	-0.3	+3.6	V	相对于地
模拟电源电压	-0.3	+3.6	V	相对于地
电流采样通道输入电压	-0.3	+3.3	V	相对于地
电压采样通道输入电压	-0.3	+3.3	V	相对于地
工作温度	-40	+85	°C	
存储温度	-55	+150	°C	
PN 结结温	-40	+125	°C	

功能框图



第1章 寄存器列表

1.1 系统控制寄存器

在发生 POR 复位、RX 复位或软件全局复位时，系统控制寄存器被复位为默认值。以下表格中所有“默认值”均为十六进制数值。

系统控制寄存器参与参数配置自检校验。

表 1-1 系统控制寄存器 0 (0x0180, SysCtrl, R/W)

0x0180, R/W, 系统控制寄存器, SysCtrl			
位		默认值	功能说明
Bit[31:30]	保留	0	为保证系统正常工作，必须写入默认值。
Bit29	ADCUPDN	0	将该位置 1 开启电压 (U) 通道 ADC。U 通道 ADC 默认关闭。
Bit28	ADCIBPDN	0	将该位置 1 开启电流 (IB) 通道 ADC。IB 通道 ADC 默认关闭。
Bit27	ADCIAPDN	0	将该位置 1 开启电流 (IA) 通道 ADC。IA 通道 ADC 默认关闭。
Bit26	GU	0	U 通道 ADC 模拟增益控制。 0: ×4; 1: ×1。 正常计量时，为获取最佳的计量性能，建议写入默认值。
Bit[25:24]	GIB<1:0>	10	IB 通道 ADC 模拟增益控制。用户应根据传感器的输出信号大小确定 PGA，应保证最大信号与 PGA 的乘积小于基准电压。 00: ×4; 01: ×1; 10: ×32; 11: ×16。
Bit[23:22]	GIA<1:0>	00	IA 通道 ADC 模拟增益控制。用户应根据传感器的输出信号大小确定 PGA，应保证最大信号与 PGA 的乘积小于基准电压。 00: ×32; 01: ×16; 10: ×4; 11: ×1。

0x0180, R/W, 系统控制寄存器, SysCtrl

位		默认值	功能说明
Bit[21:20]	ADCLKSEL<1:0>	00	配置过采样 ADC 时钟频率（采样频率）。正常计量时，必须保证 ADC 采样频率是电能计量时钟频率的四分之一或八分之一。 00: 819.2kHz; 01: 409.6kHz; 10: 204.8kHz; 11: 102.4kHz。 正常计量时，为了获取最佳的计量性能，建议写入默认值。
Bit19	CKMDIV	0	选择电能计量时钟频率。0: 3.2768MHz; 1: 819.2kHz。 正常计量时，为了获取最佳的计量性能，建议写入默认值。
Bit[18:16]	REST<2:0>	0	电压基准（Bandgap）电路的温度系数微调节。正常计量时，为了获取最佳的计量性能和温度性能，建议用户根据计算结果进行调整。计算方法见电压基准电路章节。 000: 0ppm; 001: +10ppm; 010: +20ppm; 011: +30ppm; 100: -40ppm; 101: -30ppm; 110: -20ppm; 111: -10ppm。
Bit[15:14]	RESTL<1:0>	0	电压基准（Bandgap）电路的温度系数粗调节。正常计量时，为了获取最佳的计量性能和温度性能，用户必须根据计算结果进行调整。计算方法见电压基准电路章节。 00: 0ppm; 01: +70ppm; 10: -140ppm; 11: -70ppm。
Bit13	SHORTU	0	当 U 通道输入直流信号时，可将该位置 1 将 U 通道放大器端短路，获得 ADC 本身的偏置值。该功能默认关闭。仅直流计量初始化时候需要打开用于获取 ADC 自身引入的直流偏置，正常计量时候关闭。 正常交流计量时，必须写入默认值。
Bit12	SHORTI	0	当 I 通道输入直流信号时，可将该位置 1 将 I 通道放大器端短路，获得 ADC 本身的偏置值。该功能默认关闭。仅直流计量初始化时候需要打开用于获取 ADC 自身引入的直流偏置，正常计量时候关闭。 正常交流计量时，必须写入默认值。
Bit[11:7]	RCTRIM<4:0>	0	调节内部高频 RC 时钟频率（理想值是 3.2768MHz）。默认 0b00000 为不调整。正常计量时，为获取最佳性能，建议写入默认值。 0b00001~0b01111: 每增加一个比特，RC 时钟频率相对于 0b00000 时的频率减少 2%； 0b11111~0b10000: 每减小一个比特，RC 时钟频率相对于 0b00000 时的频率增加 2%。

0x0180, R/W, 系统控制寄存器, SysCtrl

位		默认值	功能说明
Bit6	RCX12	0	RC 基频调整。计量芯片设计的默认电压频率是 50Hz，当需要应用到 60Hz 系统时，可以将计量芯片内部的高频 RC 时钟的默认频率 3.2768MHZ 提高到原来的 1.2 倍。 0: 不调整 1: X1.2
Bit5	IEHSE	0	为保证计量芯片正常工作，必须写入默认值。
Bit4	IEPDN	0	使能掉电中断输出，默认禁止。 0: 禁止；1: 使能。
Bit3	IESUL	0	使能电压符号位输出，默认禁止。 0: 禁止；1: 使能。
Bit2	BPHPF	0	旁路高通滤波器，默认信号处理中开启高通滤波器，要做直流计量时需要使能该位。 0: 开启高通滤波器，此时，仅电压/电流信号的交流分量参与有效值/功率计算； 1: 旁路高通滤波器，此时，电压/电流信号的直流和交流分量均参与有效值/功率计算。
Bit1	PGAU	0	配置电压 (U) 通道数字增益。 0: ×1；1: ×4。
Bit0	CHSEL	0	无功计量通道切换控制位。计量芯片只提供一路无功计量功率计算： 0: IA 通道无功计量； 1: IB 通道无功计量。

模拟控制寄存器 0 (0x0182, AnaCtrl0, R/W)

0x0182, R/W, 模拟控制寄存器 0, AnaCtrl0

位		默认值	功能说明
Bit[31:10]	保留	0	为保证系统正常工作，必须写入默认值。
Bit[9:8]	IT<1:0>	0	调节全局偏置电流。00: -33%; 01: 1; 10: -66%; 11: -75%。 正常计量时，为获取最佳性能，建议配置为 00。

0x0182, R/W, 模拟控制寄存器 0, AnaCtrl0

位		默认值	功能说明
Bit[7:0]	保留	0	为保证系统正常工作, 必须写入默认值。

表 1-2 模拟控制寄存器 1 (0x0183, AnaCtrl1, R/W)

0x0183, R/W, 模拟控制寄存器 1, AnaCtrl1

位		默认值	功能说明
Bit[31:30]	保留	0	为保证系统正常工作, 必须写入默认值。
Bit[29:28]	CSEL<1:0>	0	调整 I 通道 ADC 的密勒电容。00: 不调整; 01: 增加 33%; 10: 增加 66%; 11: 增加 100%。 正常计量时, 为获取最佳的计量性能和温度性能, 建议配置为 0b01。
Bit[27:0]	保留	0	为保证系统正常工作, 必须写入默认值。

1.2 校表参数寄存器

发生上电复位 (POR)、RX 复位或软件复位时, 所有校表参数配置寄存器均会被复位为默认值。下表中的“默认值”均为十六进制数值。

所有的校表参数寄存器均需要参与参数配置自检校验。

表 1-3 功率/有效值/小信号比差/角差校正寄存器 (R/W)

地址	寄存器		R/W	说明	默认值
0x00F6	PAC	A 通道有功功率比差校正	R/W	32-bit 二进制补码	0
0x00F7	PHC	有功功率角差校正	R/W	32-bit 二进制补码 其中 Bit24 是 IB 通道角差校正符号位。 1: 延时电压信号; 0: 延时电流信号。 Bit[24:16]表达的 32-bit 二进制补码的绝对值就是通道角差校正值的绝对值。 当计量芯片工作时钟 (f_{smp1}) 为 3.2768MHz 时, 角差校正的分辨率为 0.005°/bit, 总校正量 (绝对值) 为 1.4°。	0

地址	寄存器	R/W	说明	默认值	
			<p>其中 Bit8 是 IA 通道角差校正值符号位。</p> <p>1: 延时电压信号; 0: 延时电流信号。</p> <p>Bit[8:0]表达的 二进制补码的绝对值就是通道角差校正值的绝对值。</p> <p>当计量芯片工作时钟 (f_{smp1}) 为 3.2768MHz 时, 角差校正的分辨率为 0.005°/bit, 总校正量 (绝对值) 为 1.4°。</p>		
0x00F8	PADCC	A 通道有功功率小信号校正	R/W	32-bit 二进制补码	0
0x00F9	QAC	A 路无功功率比差校正	R/W	32-bit 二进制补码	0
0x00FA	QBC	B 路无功功率比差校正	R/W	32-bit 二进制补码	0
0x00FB	QADCC	A 无功功率小信号校正	R/W	32-bit 二进制补码	0
0x00FC	QBDCC	B 无功功率小信号校正	R/W	32-bit 二进制补码	0
0x00FD	IAC	A 路电流有效值比差校正	R/W	32-bit 二进制补码	0
0x00FE	IADCC	A 路电流有效值小信号校正	R/W	32-bit 二进制补码	0
0x00FF	UC	电压有效值比差校正	R/W	32-bit 二进制补码	0
0x0100	PBC	B 路有功功率比差校正	R/W	32-bit 二进制补码	0
0x0101	PBDCC	B 路有功功率小信号校正	R/W	32-bit 二进制补码	0
0x0102	IBC	B 路电流有效值比差校正	R/W	32-bit 二进制补码	0
0x0103	IBDCC	B 路电流有效值小信号校正	R/W	32-bit 二进制补码	0
0x0104	IAADCC	A 路电流 ADC 直流偏置校正	R/W	32-bit 二进制补码	0
0x0105	IBADCC	B 路电路 ADC 直流偏置校正	R/W	32-bit 二进制补码	0
0x0106	UADCC	电压 ADC 直流偏置校正	R/W	32-bit 二进制补码	0
0x0107	BPF PARA	带通滤波器系数	R/W	该滤波器用于分离出基波信号, 以便于更准确地进行频率测量和相位测量。 在 3.2768MHz 时钟下, 客户需要写入 0x806764B6	0
0x0108	UDCC	电压有效值小信号校正	R/W	32-bit 二进制补码	0

1.3 校验和寄存器

表 1-4 校验和寄存器 (CKSUM, R/W)

地址	寄存器	默认值	R/W	数据格式	说明
0x0109	CKSUM	0	R/W	32-bit 补码	该寄存器需要参与参数配置自检校验。该寄存器与其它系统控制寄存器和校表参数寄存器一起参与参数配置自检校验。如果上述所有寄存器值的累加和为 0xFFFFFFFF 时，参数配置自检通过。 为保证参数配置自校验成功，该寄存器应写入 0xFFFFFFFF 与其它相关寄存器配置值和的差值。

1.4 软件复位寄存器

表 1-5 软件复位寄存器 (SFTRST, W)

地址	寄存器	默认值	R/W	数据格式	说明
0x01BF	SFTRST	0	W	32-bit 补码	向该寄存器写入 0x4572BEAF，系统发生软件复位，复位所有电路。

1.5 系统状态寄存器

表 1-6 系统状态寄存器 (0x00CA, SysSts, R)

0x00CA, 系统状态寄存器, SysSts					
位		R/W	默认值	功能说明	
Bit[31:12]	保留	R	N/A	读出值不确定且无意义。	
Bit11	USIGN	R	0	对该位进行读操作判断电压信号符号。该标志位不可清空，会跟随电压符号位翻转。1：负号；0：正号。	
Bit10	保留	R	N/A	读出值不确定且无意义。	
Bit9	PHSDONE_R	R	0	相位测量是否结束标识位的锁存值。0：未结束；1：已结束。可以通过对 0x019D 对 PHSDONE_CLR 位写零，清除该标志位。	

0x00CA, 系统状态寄存器, SysSts

位	R/W	默认值	功能说明																				
Bit8	R	0	<p>系统发生复位后, RAM 即进行自检, 耗时约 1.25ms。自检通过后 RAM 才能被自由访问。</p> <p>如果该位读值为 1, 表明 RAM 自检失败。此时, 用户应重新复位系统。如果复位后该标志位被清空, 表明 RAM 自检通过。如果重新复位后该标志位读值仍为 1, 则表明计量芯片的 RAM 可能存在质量问题。</p>																				
Bit7	R	0	<p>掉电中断标志位。当系统发生掉电时, 即 VDD33 引脚上的电平低于掉电阈值时, 该位读值为 1。当掉电事件消失后, 该标志位读值为 0。</p>																				
Bit6	R	0	<p>掉电中断标志位锁存值。当系统发生掉电时, 即 VDD33 引脚上的电平低于掉电阈值时, 该位读值为 1。当掉电事件消失后, 该标志位读值保持为 1。可以通过对 0x019D 对 PDN_CLR 位写零, 清除该标志位。</p>																				
Bit[5:3]	R	0	<p>复位原因标志位</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Bit5</th> <th>Bit4</th> <th>Bit3</th> <th>说明</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>1</td> <td>系统发生 POR 复位。</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>0</td> <td>保留。</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>系统发生 RX 复位。</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>系统发生软件复位。</td> </tr> </tbody> </table> <p>对 Bit[5:3]进行读操作可以判断复位原因。</p>	Bit5	Bit4	Bit3	说明	0	0	1	系统发生 POR 复位。	0	1	0	保留。	0	1	1	系统发生 RX 复位。	1	0	0	系统发生软件复位。
Bit5	Bit4	Bit3	说明																				
0	0	1	系统发生 POR 复位。																				
0	1	0	保留。																				
0	1	1	系统发生 RX 复位。																				
1	0	0	系统发生软件复位。																				
Bit2	R	0	<p>参数自检错误中断标志位。读出值每 5ms 刷新一次。</p> <p>对该位进行读操作判断是否发生参数自检错误中断。如果参数配置自检校验通过, 该位读值为 0; 否则, 自检失败, 该位读值为 1。当该标志位读值为 1 时, 只有使系统控制寄存器、校表参数寄存器和参数自检寄存器配置值的累加和为 0xFFFFFFFF, 参数配置自检校验通过, 该标志位才会自动清零。</p>																				
Bit1	R	0	<p>相位测量是否结束标识位。0: 未结束; 1: 已结束。</p>																				
Bit0	R	0	<p>当 REF 外接电容开始漏电时, 该位置高, 否则该位为低。读写操作不会改变此位的电平。</p>																				

表 1-7 系统状态清除寄存器 (0x019D, SysStsClr, R/W)

0x019D, 系统状态寄存器, SysStsClr				
位		R/W	默认值	功能说明
Bit[31:10]	保留	R/W	N/A	读出值不确定且无意义。
Bit9	PHSDONE_CLR	R/W	0	相位测量是否结束标识位。0: 未结束; 1: 已结束。可对该位写 0 清 0。
Bit[8:7]	保留	R/W	N/A	读出值不确定且无意义。
Bit6	PDN_CLR	R/W	0	掉电中断标志位。当系统发生掉电时, 即 VDD33 引脚上的电平低于掉电阈值时, 该位读出值为 1。当掉电事件消失后, 该标志位读出值保持为 1。可对该位写 0 清 0。
Bit[5:0]	保留	R/W	N/A	读出值不确定且无意义。

1.6 计量数据寄存器

发生上电复位 (POR)、RX 复位或软件复位时, 所有计量数据寄存器被复位。

表 1-8 计量数据寄存器

地址	寄存器		R/W	数据格式	默认值	说明
0x00CB	FREQINST	瞬时频率值	R	32-bit 二进制补码	0	当电能计量时钟频率为 3.2768MHz 时, 每 20ms 更新一次。
0x00CC	PAINST	A 路瞬时有功功率值	R	32-bit 二进制补码	0	当电能计量时钟频率为 3.2768MHz 时, 该寄存器的值的更新时间为 160ms, 稳定时间为 480ms。
0x00CD	QINST	瞬时无功功率值	R	32-bit 二进制补码	0	当电能计量时钟频率为 3.2768MHz 时, 该寄存器的值的更新时间为 160ms, 稳定时间为 480ms。
0x00CE	IAINST	A 路瞬时电流有效值	R	32-bit 二进制补码	0	当电能计量时钟频率为 3.2768MHz 时, 该寄存器的值的更新时间为 10ms, 稳定时间为 160ms。
0x00CF	UINST	瞬时电压有效值	R	32-bit 二进制补码	0	当电能计量时钟频率为 3.2768MHz 时, 该寄存器的值的更新时间为 10ms, 稳定时间为 160ms。

地址	寄存器		R/W	数据格式	默认值	说明
0x00D0	PAAVG	A 路平均有功功率值	R	32-bit 二进制补码	0	当电能计量时钟频率为 3.2768MHz 时，该寄存器的值的更新时间为 640ms，稳定时间为 1280ms。
0x00D1	QAVG	平均无功功率值	R	32-bit 二进制补码	0	当电能计量时钟频率为 3.2768MHz 时，该寄存器的值的更新时间为 640ms，稳定时间为 1280ms。
0x00D2	FREQAVG	平均频率值	R	32-bit 二进制补码	0	当电能计量时钟频率为 3.2768MHz 时，每 320ms 更新一次。
0x00D3	IAAVG	A 路平均电流有效值	R	32-bit 二进制补码	0	当电能计量时钟频率为 3.2768MHz 时，该寄存器的值的更新时间为 320ms，稳定时间为 960ms。
0x00D4	UAVG	平均电压有效值	R	32-bit 二进制补码	0	当电能计量时钟频率为 3.2768MHz 时，该寄存器的值的更新时间为 320ms，稳定时间为 960ms。
0x00D5	PBINST	B 路瞬时有功功率值	R	32-bit 二进制补码	0	当电能计量时钟频率为 3.2768MHz 时，该寄存器的值的更新时间为 160ms，稳定时间为 480ms。
0x00D6	IBINST	B 路瞬时电流有效值	R	32-bit 二进制补码	0	当电能计量时钟频率为 3.2768MHz 时，该寄存器的值的更新时间为 10ms，稳定时间为 160ms。
0x00D7	PBAVG	B 路平均有功功率值	R	32-bit 二进制补码		当电能计量时钟频率为 3.2768MHz 时，该寄存器的值的更新时间为 640ms，稳定时间为 1280ms。
0x00D8	IBAVG	B 路平均电流有效值	R	32-bit 二进制补码		当电能计量时钟频率为 3.2768MHz 时，该寄存器的值的更新时间为 320ms，稳定时间为 960ms。
0x00D9	UDCINST	电压瞬时直流分量值	R	32-bit 二进制补码		
0x00DA	IADCINST	A 路瞬时直流分量值	R	32-bit 二进制补码		
0x00DB	IBDCINST	B 路瞬时直流分量值	R	32-bit 二进制补码		
0x00DC	ZXDATREG	电压过零点前一次采样值	R	32-bit 二进制补码	0	
0x00DD	ZXDAT	电压过零点当前点采样值	R	32-bit 二进制补码	0x80000000	
0x00DE	PHDAT	电压相位数据	R	32-bit 二进制补码	1	
0x00E0	T8BAUD	当前波特率通信时连续 8bit 下降沿的时间数据	R	32-bit 二进制补码	0	该寄存器需要参与测量 RC 时钟的偏移，其数值用于补偿频率。按照如下公式计算内部高频 RC 时钟频率：

地址	寄存器	R/W	数据格式	默认值	说明
					$frc = K' \times \frac{T8BAUD}{8}$ <p>其中：</p> <p>frc: 内部高频 RC 时钟实际频率；</p> <p>T8BAUD: 当前寄存器（0x00E0）的值；</p> <p>K ‘: 实际波特率，主控 MCU 已知量。</p> <p>电压频率：</p> $f = 0.00390625 \times K' \times \frac{T8BAUD}{FREQAVG}$ <p>其中：</p> <p>f: 实际的电压频率</p> <p>T8BAUD: 当前寄存器（0x00E0）的值</p> <p>FREQAVG: 频率秒平均值寄存器（0x00D2）的值</p> <p>K ‘: 实际波特率，主控 MCU 已知量。</p>

第2章 复位

计量芯片有 3 个复位来源：上电复位（POR）、RX 复位和软件复位，三者都可以复位计量芯片中的全部电路。

2.1 复位相关寄存器

表 2-1 复位相关寄存器

寄存器	bit	默认值	功能描述
0x00CA SysSts	Bit[5:3] RSTSRC	0	复位原因标志位
			Bit5 Bit4 Bit3 说明
			0 0 1 发生了 POR 复位。
			0 0 0 保留。
			0 1 1 发生了 RX 复位。
			0 1 0 保留。
1 0 0 发生了软件复位。			
0x01BF 软件复位控制寄存器，SFTRST			32-bit 补码，可读可写。向该寄存器写入 0x4572BEAF，系统发生软件复位，复位所有电路。

2.2 上电复位（POR）

内部上电复位电路会监测 DVCC 的输出电压。当 DVCC 的输出电压低于 1.45V 时，系统发生 POR 复位并一直处于复位状态；当 DVCC 输出电压高于 1.45V 时，复位信号释放，500 μ s 后，系统退出复位状态，进入初始状态。

发生 POR 复位时，RSTSRC 位（bit[5:3]，0x00CA，SysSts）被复位为 0b001。

在复位状态，外部 MCU 及计量 VMA 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。

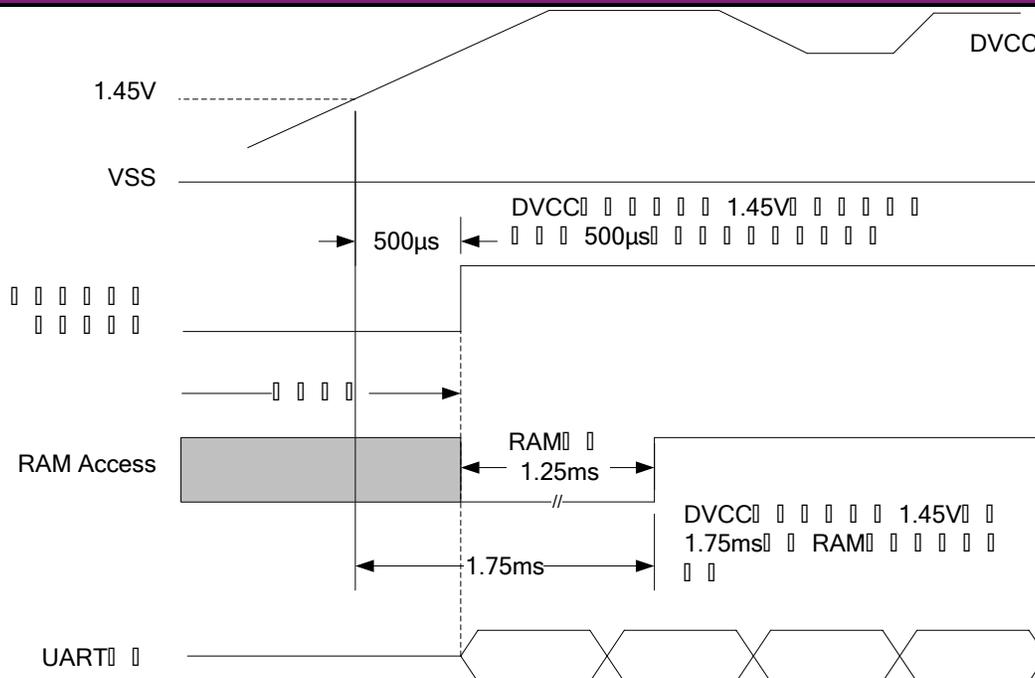


图 2-1 POR 时序图

2.3 RX 复位

当 RX 引脚持续输入 70ms 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，900µs 后，系统退出复位状态，进入初始状态。

发生 RX 复位时，RSTSRC 位 (bit[5:3], 0x00CA, SysSts) 被复位为 0b011。

在复位状态，外部 MCU 及计量 VMA 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。

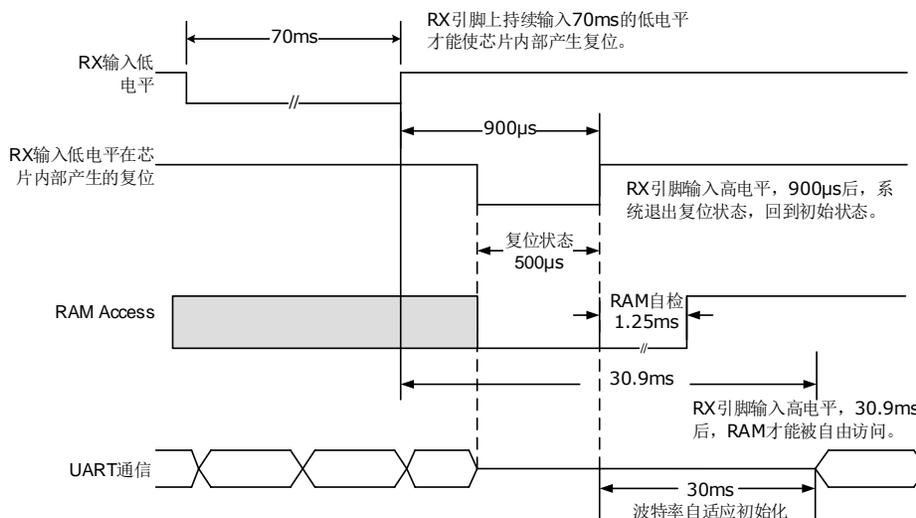


图 2-2 RX 复位时序图

2.4 软件复位

外部 MCU 向寄存器 SFTRST (0x01BF) 写入 0x4572BEAF 可以使计量芯片内部产生复位，650 μ s 后，系统退出复位状态，进入初始状态。

发生软件复位时，RSTSRC 位 (bit[5:3], 0x00CA, SysSts) 被复位为 0b100。

在复位状态，外部 MCU 及计量 VMA 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 立即工作。

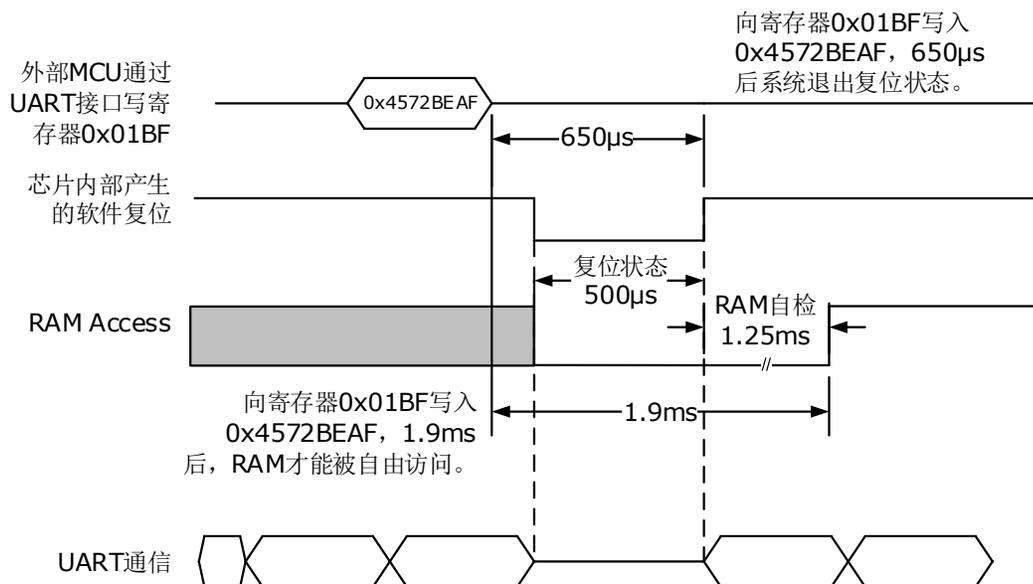


图 2-3 软件复位时序图

第3章 时钟

在芯片中，时钟系统包括 2 个时钟源，包括：

- 内置高频 RC 振荡电路提供的 3.2768MHzRC 时钟（CLK1）：该时钟可供计量 VMA、ADC 和 UART 接口使用。该电路在上电时自动运行。发生 POR、RX 复位或软件复位后，该电路自动开启。
- 内置低频 RC 振荡电路提供的 32.768kHzRC 时钟（CLK2）：供部分 IO 滤波使用。只要系统不断电，该电路一直工作。

上述 2 个时钟产生电路之间的关系如下图所示。

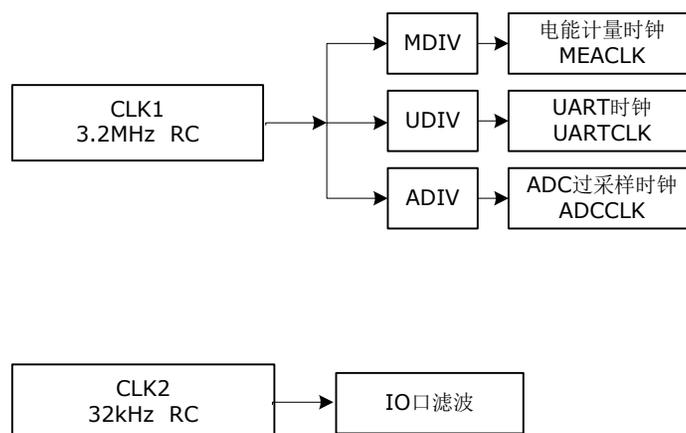


图 3-1 时钟产生电路

表 3-1 时钟产生电路相关寄存器

寄存器	位	默认值	说明
0x0180 SysCtrl	Bit[21:20] ADCLKSEL<1:0>	2'b00	配置过采样 ADC 时钟频率（采样频率）。正常计量时，必须保证 ADC 采样频率是电能计量时钟频率的四分之一或八分之一。 00: 819.2kHz; 01: 409.6kHz; 10: 204.8kHz; 11: 102.4kHz。 正常计量时，为了获取最佳的计量性能，建议采用默认值。
	Bit19 CKMDIV	0	选择电能计量时钟频率。 0: 3.2768MHz; 1: 819.2kHz。 正常计量时，为了获取最佳的计量性能，建议采用默认值。

寄存器	位	默认值	说明
	Bit[11:7] RCTRIM<4:0>	0	调节内部高频 RC 时钟频率（默认值是 3.2768MHz）。默认 0b00000 为不调整。正常计量时，为获取最佳性能，建议写入默认值。 0b00001~0b01111：每增加一个比特，RC 时钟频率相对于 0b00000 时的频率减少 2%； 0b11111~0b10000：每减小一个比特，RC 时钟频率相对于 0b00000 时的频率增加 2%。
	Bit6 RCX12	0	RC 基频调整。计量芯片设计的默认电压频率是 50Hz，当需要应用到 60Hz 系统时，可以将计量芯片内部的高频 RC 时钟的默认频率 3.2MHz 提高到原来的 1.2 倍。 0：不调整 1：×1.2

3.1 高频 RC 振荡电路

计量芯片内置一个高频 RC 振荡器，默认工作在电网基波频率是 50Hz 的系统，产生一个 3.2768MHz（批量芯片之间偏差在±20%以内，单个芯片-40~85 摄氏度范围内偏差在±3%以内）的 RC 时钟。

在计量模式下，该电路自动开启，产生 CLK1，供计量 VMA、ADC 和 UART 接口使用。

发生 POR 复位、RX 复位或软件复位时，该电路自动开启。

3.2 低频 RC 振荡电路

计量芯片中内置一个低频 RC 振荡器，产生一个 32kHz 的 RC 时钟（CLK2），供部分 IO 口（引脚 RX）输入信号滤波使用。只要系统不掉电，该电路一直工作。

第4章 工作模式

计量芯片上电时，或者，当计量芯片在工作时发生 POR、RX 复位或软件复位时，计量芯片进入**初始状态**。此时，各功能模块的工作状态如下表所示。

初始状态下，系统功耗较低，典型功耗为 500 μ A。用户只需要做简单的配置，系统即可进入计量模式。

表 4-1 初始状态下各功能模块的工作状态

功能模块	初始状态
RAM	清零
3.2MHz RC 振荡电路	工作
32kHz RC 振荡电路	工作
Bandgap	工作
偏置电路	工作
掉电监测电路	工作
上电复位电路	工作
LDO	工作
ADC	关闭
计量 VMA	开启，但是仅作参数配置自检校验。
中断电路	工作。参数配置自检错误中断始终输出高电平，其它中断输出默认被屏蔽。
UART	工作。

4.1 计量模式

在初始状态下，配置以下参数使系统进入计量模式：

- ADC：开启/关闭，配置采样频率为 819.2kHz 或 204.8kHz；
- 计量 VMA：电能计量时钟频率配置为 3.2768MHz 或 819.2kHz；
- 正常计量时，必须保证 ADC 采样频率是电能计量时钟频率的四分之一或八分之一。
- 工作模式可配置为仅开启参数配置自检或实现全部功能等。

第5章 电源系统

芯片采用 3.3V 单电源供电，内部集成了晶体起振电路、用于给数字电路供电的 DVCC LDO、上电复位和掉电检测电路，各模块间的连接关系如下图所示：

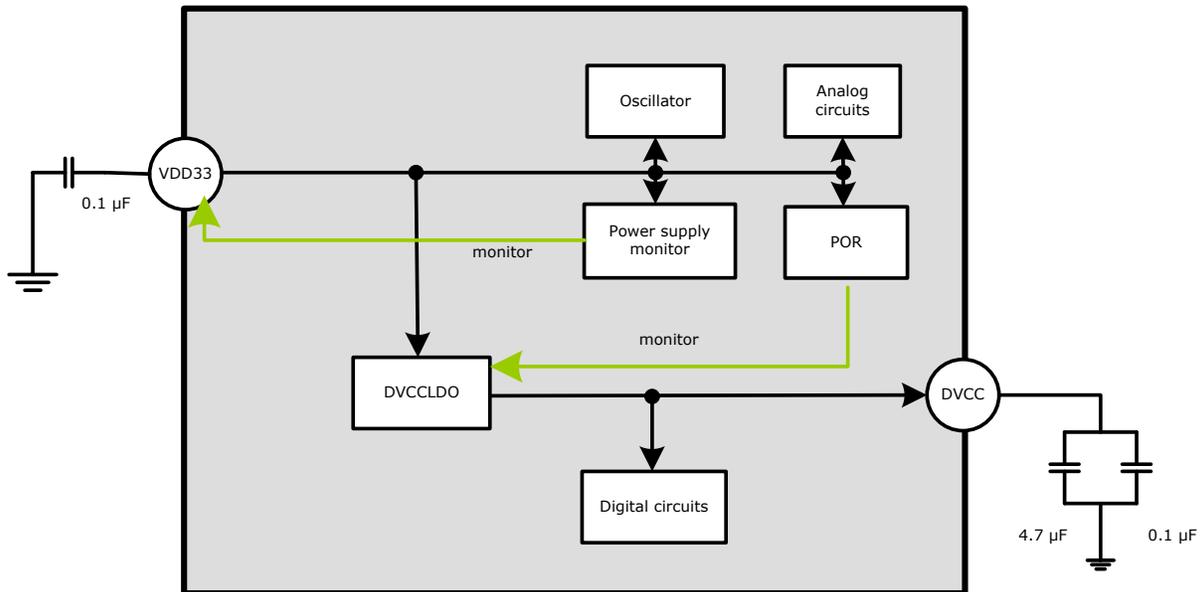


图 5-1 电源系统

表格 5-1 系统控制寄存器 (0x0180, SysCtrl, R/W)

0x0180, R/W, 系统控制寄存器, SysCtrl			
位		默认值	功能说明
Bit4	I EPDN	0	使能掉电中断输出，默认禁止。 0：禁止；1：使能。

5.1 掉电监测电路

计量芯片内置掉电监测电路，可以实时监测引脚 VDD33 的输入信号。当 VDD33 引脚上的电平低于掉电阈值 2.7V（批量分布 2.5~2.9V）时，系统掉电，并发生掉电中断，掉电检测标志位 PDN (bit7, SysSts) 和 PDN_R (bit6, SysSts) 都置 1，当掉电事件消失后，PDN (bit7, SysSts) 标志位自动清零，而 PDN_R (bit6, SysSts) 则会保持原来的状态，需手动清零。

如果掉电中断输出使能，即 I EPDN 位 (bit4, SysSts) 置 1，当系统发生掉电中断时，引脚 INT 输出高电平。

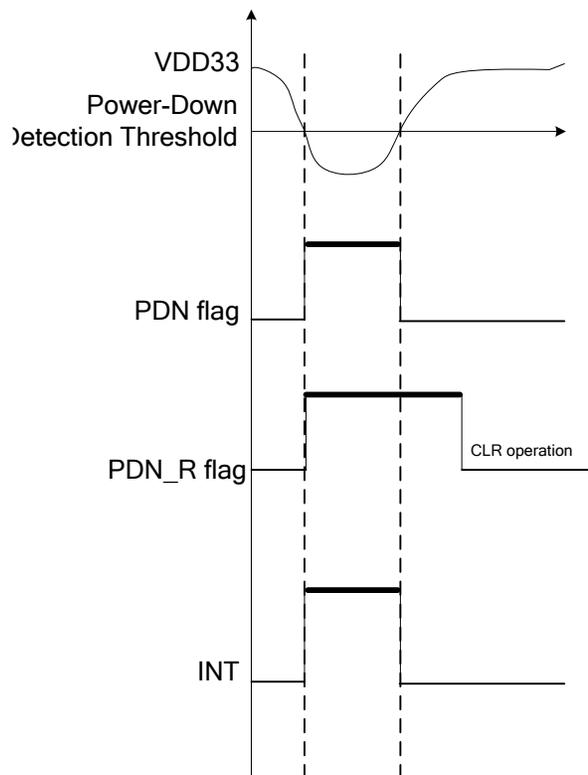


图 5-2 掉电中断

5.2 上电复位电路

上电复位（POR）电路监测 DVCC 引脚的输出电平。当 DVCC 引脚上的输出电压低于 1.45V 时，POR 复位信号持续低电平，产生复位信号。高于 1.45V 后，复位信号释放。详见“上电复位（POR）”。

该电路始终工作。

第6章 电压基准电路 (Bandgap)

电压基准电路 (Bandgap) 输出一个随温度变化较小的 (典型温度漂移 10ppm/°C) 约 1.210V 的基准电压, 为 ADC 和 3.2MHz RC 时钟提供基准电压和偏置电压。

Bandgap 电路一直保持开启。

用户可以通过配置 SysCtrl(0x0180)中的 bit[18:16](即 REST<2:0>)和 bit[15:14](即 RESTL<1:0>)对 Bandgap 电路的温度系数进行调整, 以便与系统 (如片外元器件等) 带来的温度系数相抵消, 具体步骤如下:

- 1) 先确定现有温度系数寄存器的配置, 假设当前细调寄存器 REST<2:0>= '010', 粗调 RESTL<1:0>= '00', 那么查表知道目前对应的温度系数调节幅度为+20ppm;
- 2) 实验确定电表的高低温误差。例如 20°C时误差为 0, 高温 80°C误差为 0.6%, 低温-40°C为-0.4%。那么需要调节的误差幅度是 $(0.6\% - (-0.4\%))/2$, 为 0.5%, 调节方向以高温为基准, 应该将高温误差往负调。对应 ppm 是 $-0.5\% / (80 - 20) = -5000 / 60 = -83\text{ppm}$, 四舍五入取-80ppm;
- 3) 误差和 REF 的变化幅度是负两倍关系, 因此对应要将 REF 往正方向调节 40ppm。考虑到现有配置已经是+20ppm, 那么最终要调+60ppm。查表知道当 RESTL<1:0>= '01'时, 对应 70ppm, REST<2:0>= '111'时, 对应-10ppm, 组合起来等于 60ppm。

注意: 对 ref 温度参数的调节会影响到基本误差, 因此, 客户每设计一款新的产品时, 首先确认 ref 的温度参数, 再对电能表进行误差校正。

注意: 当 Bandgap 温度系数为 x%时, 电表计量误差的温度系数为-2x%。

表 6-1 Bandgap 电路相关寄存器

寄存器	位	默认值	说明
SysCtrl 0x0180	Bit[18:16] REST<2:0>	0	电压基准 (Bandgap) 电路的温度系数微调节。 000: 0ppm; 001: +10ppm; 010: +20ppm; 011: +30ppm; 100: -40ppm; 101: -30ppm; 110: -20ppm; 111: -10ppm。 正常计量时, 为了获取最佳的计量性能和温度性能, 用户必须根据计算结果进行调整。计算方法见电压基准电路章节。
	Bit[15:14] RESTL<1:0>	0	电压基准 (Bandgap) 电路的温度系数粗调节。 00: 0ppm; 01: +70ppm; 10: -140ppm; 11: -70ppm。 正常计量时, 为了获取最佳的计量性能和温度性能, 用户必须根据计算结果进行调整。计算方法见电压基准电路章节。

第7章 UART

计量芯片支持通过 UART 串行端口与外部 MCU 通信。UART 端口具有如下特点：

- 异步半双工通信；
- 接收或发送的字节组成：1-bit 开始位，8-bit 数据，1-bit 校验位（奇校验）和 1-bit 停止位；
- 不管接收还是发送，都是最低位（LSB）在前；
- 波特率自适应，支持的波特率 1200bps~19200bps；

当发生 POR 复位、RX 复位或软件复位时，UART 串行端口被复位。

7.1 字节结构

UART 串行端口采用固定长度的字节进行通信。如下图所示，UART 接收和发送的每个字节都包括 11 位，由 4 部分组成，从低位到高位分别是开始位（“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）。无论发送还是接收，总是最低位（LSB）在前，最高位（MSB）在后。



图 7-1 UART 通信的字节结构

7.2 通信协议

外部 MCU 对计量芯片内一个 32-bit 的数据进行读/写/广播操作均需要发送一个由 8 个字节组成的命令帧（结构如下图所示）。各个字节的说明详见“写操作”、“读操作”和“广播写操作”。

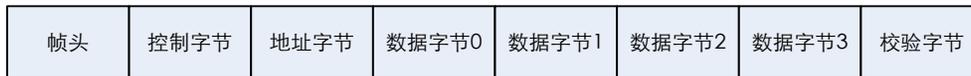


图 7-2 读/写/广播写操作时外部 MCU 对计量芯片发送的命令帧（8 个字节）

进行读/写操作时，在收到外部 MCU 发送的命令帧后，计量芯片会针对不同的操作向外部 MCU 发送不同结构的应答帧，各个字节的说明详见“写操作”和“读操作”。进行广播写操作时，在收到外部 MCU 发送的命令帧后，计量芯片不会向外部 MCU 发送应答帧，以免发生通信冲突。

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。

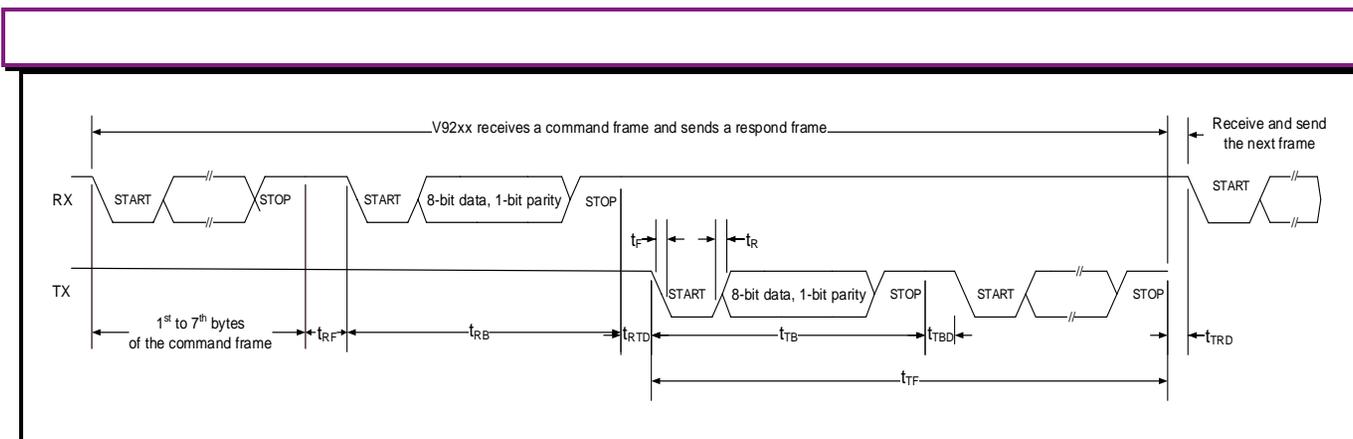


图 7-3 计量芯片的 UART 接口接收与发送一个字节帧的时序

表 7-1 UART 接口时序参数说明

时序参数	说明
t_{RB}	计量芯片的 RX 引脚接收完一个字节实际所需的时间。 $T_{RB} = \frac{11}{\text{baudrate}}$ 其中, baudrate 为计量芯片的 UART 接口实际的波特率。
T_{RF}	$t_{RF} = 20\text{ms}$ 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}	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。 $1\text{ms} \leq t_{RTD} \leq 20\text{ms}$ 注意: 广播写操作时, 不发送应答帧。外部 MCU 对计量芯片进行连续两次广播写操作之间, 建议至少等待 1ms。
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。广播写操作时, 不发送应答帧。
T_{TB}	计量芯片的 TX 引脚发送完一个字节实际所需的时间。 $T_{TB} = \frac{11}{\text{baudrate}}$ 其中, baudrate 为计量芯片的 UART 接口实际的波特率。
T_{TBD}	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。 $0\text{ms} \leq t_{TBD} \leq 20\text{ms}$
t_{TRD}	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。 建议大于 1ms。
T_R	波形上升沿的时间, 约为 300ns。
T_F	波形下降沿的时间, 约为 300ns。

7.2.1 写操作

外部 MCU 对计量芯片内一个 32 位数据进行写操作需要发送一个由 8 个字节组成的命令帧；收到信息后，计量芯片会向外部 MCU 发送一个由 4 个字节组成的应答帧。接收与发送的各字节中，START 位为 0，STOP 位为 1，P 位根据整个字节的实际情况确定，数据位（B7:B0）的内容分别如下表所示。无论发送还是接收，都是最低位（LSB）在前，最高位（MSB）在后。

在控制字节中，B3:B2 为从机地址，由引脚 A1/A0 决定，最多可同时支持 4 颗计量芯片。

表 7-2 写操作时外部 MCU 向计量芯片发送的命令帧结构（仅列出各字节的数据位 B7:B0）

顺序	字节	B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1	B0
1	帧头	0	1	1	1	1	1	0	1
2	控制字节	写操作目标地址的高 4-bit				A1	A0	1	0
3	地址字节	写操作目标地址的低 8-bit							
4	数据字节 0	目标数据的 bit[7:0]							
5	数据字节 1	目标数据的 bit[15:8]							
6	数据字节 2	目标数据的 bit[23:16]							
7	数据字节 3	目标数据的 bit[31:24]							
8	校验字节	校验和。计算方法：将上述 7 个字节按照字节累加并对累加和进行取反操作再加 0x33 后得到。							

表 7-3 写操作时计量芯片向外部 MCU 发送的应答帧结构（仅列出各字节的数据位 B7:B0）

顺序	字节	B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1	B0
1	帧头	0	1	1	1	1	1	0	1
2	控制字节	写操作目标地址的高 4-bit				A1	A0	1	0
3	地址字节	写操作的目标地址的低 8-bit							
4	校验字节	校验和。计算方法：将上述 3 个字节按照字节累加并对累加和进行取反操作再加 0x33 后得到。							

7.2.2 读操作

外部 MCU 对计量芯片内一个 32 位数据进行读操作需要发送一个由 8 个字节组成的命令帧；收到信息后，计量芯片会向外部 MCU 发送一个由 $(4 \times N + 4)$ ($1 \leq N \leq 255$, 定义见下表) 个字节组成的应答帧。接收与发送的各字节中，START 位为 0，STOP 位为 1，P 位根据整个字节的实际情况确定，数据位（B7:B0）的内容分别如下表所示。无论发送还是接收，都是最低位（LSB）在前，最高位（MSB）在后。

在控制字节中，B3:B2 为从机地址，由引脚 A1/A0 决定，最多同时支持 4 颗计量芯片。

表 7-4 读操作时外部 MCU 向计量芯片发送的命令帧结构（仅列出各字节的数据位 B7:B0）

顺序	字节	B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1	B0
1	帧头	0	1	1	1	1	1	0	1
2	控制字节	读操作目标地址 (D_1) 的高 4-bit				A1	A0	0	1
3	地址字节	读操作的目标地址 (D_1) 低 8-bit							

顺序	字节	B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1	B0
4	数据字节 0	表示读操作的数据长度 (N)。 仅对目标地址 (D ₁) 进行读操作时, N 等于 1。数据字节 0 为零的时候, 按照 N 等于 1 进行读取。 对从目标地址开始的多个连续地址进行读操作时, N 等于地址的个数。一次最多可读取 255 个连续地址的数据, 即 N≤255。							
5	数据字节 1	无实际意义。							
6	数据字节 2								
7	数据字节 3								
8	校验字节	校验和。计算方法: 将上述 7 个字节按照字节累加并对累加和进行取反操作再加 0x33 后得到。							

表 7-5 读操作时计量芯片向外部 MCU 发送的应答帧结构 (仅列出各字节的数据位 B7:B0)

顺序	字节	B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1	B0
1	帧头	0	1	1	1	1	1	0	1
2	控制字节	读操作目标地址 (D ₁) 的高 4-bit				A1	A0	0	1
3	长度字节	表示读操作的数据长度 (N)。							
4	数据字节 10	目标地址 (D ₁) 寄存器的 bit[7:0]							
5	数据字节 11	目标地址 (D ₁) 寄存器的 bit[15:8]							
6	数据字节 12	目标地址 (D ₁) 寄存器的 bit[23:16]							
7	数据字节 13	目标地址 (D ₁) 寄存器的 bit[31:24]							
8	数据字节 20	地址 D ₂ (D ₂ =D ₁ +1) 寄存器的 bit[7:0]							
9	数据字节 21	地址 D ₂ (D ₂ =D ₁ +1) 寄存器的 bit[15:8]							
...	...								
4×N+0	数据字节 N0	地址 D _N (D _N =D ₁ +N-1) 寄存器的 bit[7:0]							
4×N+1	数据字节 N1	地址 D _N (D _N =D ₁ +N-1) 寄存器的 bit[15:8]							
4×N+2	数据字节 N2	地址 D _N (D _N =D ₁ +N-1) 寄存器的 bit[23:16]							
4×N+3	数据字节 N3	地址 D _N (D _N =D ₁ +N-1) 寄存器的 bit[31:24]							
4×N+4	校验字节	校验和。计算方法: 将上述 4×N+3 个字节按照字节累加并对累加和进行取反操作再加 0x33 后得到。							

7.2.3 广播写操作

外部 MCU 对多颗的计量芯片内一个 32 位数据进行广播写操作需要发送一个由 8 个字节组成的命令帧, 各字节中, START 位为 0, STOP 位为 1, P 位根据整个字节的实际情况确定, 数据位 (B7:B0) 的内容分别如下表所示。发送时, 最低位 (LSB) 在前, 最高位 (MSB) 在后。广播写操作时, 计量芯片无需向外部 MCU 发送应答帧, 以避免发生通信冲突。

外部 MCU 对计量芯片进行连续两次广播写操作之间, 建议至少等待 1ms。

表 7-6 广播写操作时外部 MCU 向计量芯片发送的命令帧结构（仅列出各字节的数据位 B7:B0）

顺序	字节	B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1	B0
1	帧头	0	1	1	1	1	1	0	1
2	控制字节	写操作目标地址的高 4-bit				X*	X*	0	0
3	地址字节	写操作目标地址的低 8-bit							
4	数据字节 0	目标数据的 bit[7:0]							
5	数据字节 1	目标数据的 bit[15:8]							
6	数据字节 2	目标数据的 bit[23:16]							
7	数据字节 3	目标数据的 bit[31:24]							
8	校验字节	校验和。计算方法：将上述 7 个字节按照字节累加并对累加和进行取反操作再加 0x33 后得到。							

*X 可以是 0 或 1。

第8章 信号处理

电能计量时钟（MEACLK）信号来源为高频 RC 振荡电路。

8.1 模拟信号输入

V9260S 支持 2 路电流信号输入。

电流可以采用电流传感器（CT, Current Transformer）输入信号，采用双端完全差动输入方式，接线方式如下图所示；也可以采用锰铜电阻分流网络输入电流，采用 AGND 接地。

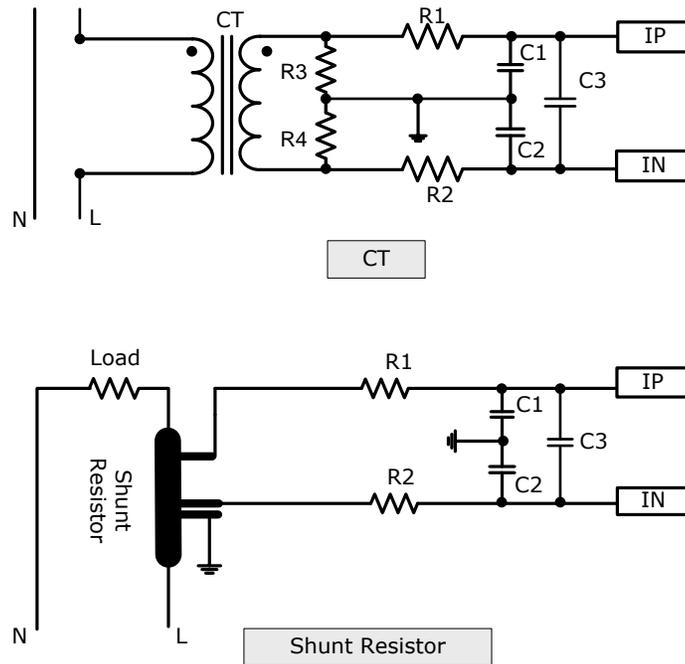
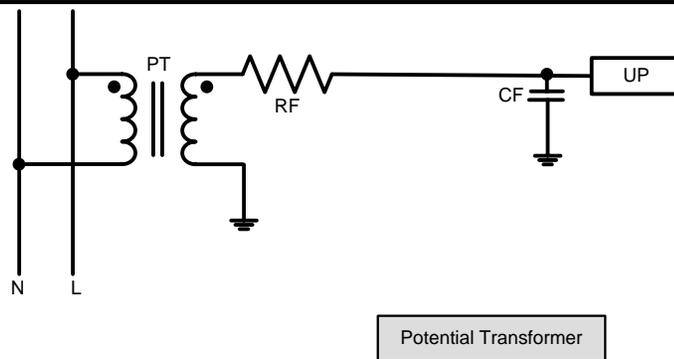
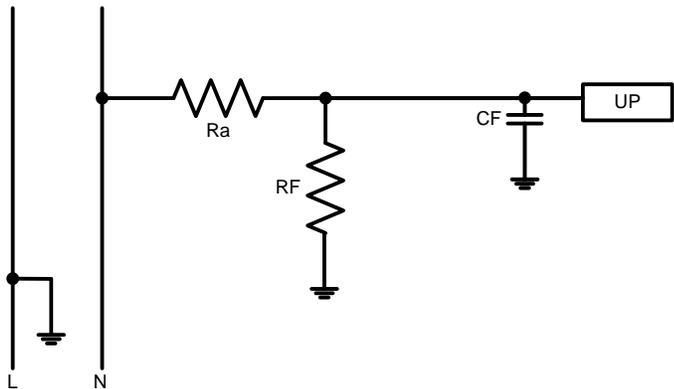


图 8-1 电流输入方式

计量芯片支持采用电压互感器方式或电阻分压方式输入电压信号，采用伪差分输入方式，UN（在芯片内部接地）为负端，UP 为正端。



Potential Transformer



Resistor Divider Network

图 8-2 电压输入方式

电流和电压通道的单个信号引脚输入的最大电压范围是±200mV，双端差分输入的最大信号是±400mV，而 ADC 的满量程信号与基准电压相等，所以，为了使传感器输出信号与模数转换器（以下简称 ADC）之间的量程相匹配，用户应通过系统控制寄存器（0x0180，SysCtrl）对电流/电压进行模拟增益配置，而片外输入信号与 PGA 的乘积不能超过 ADC 的满量程信号。经此处理，各通道的模拟信号变为：

$$U' = \text{PGA}_U \times (A_U \times \sin \omega t + \text{DC}_U)$$

$$I' = \text{PGA}_I \times [A_I \times \sin(\omega t + \varphi) + \text{DC}_I]$$

公式 8-1

其中，PGA_U 和 PGA_I 分别是电压和电流的模拟增益，A_U 和 A_I 为输入信号的幅度（V），DC_U 和 DC_I 分别是电压和电流原始信号中所带的直流分量。

表 8-1 电压/电流通道模拟增益配置

寄存器	位	默认值	说明
0x0180 SysCtrl	Bit26 GU	0	电压通道（U）ADC 模拟增益控制。 0: ×4; 1: ×1。 正常计量时，为获取最佳的计量性能，建议采用默认值。
	Bit[25:24] GIB<1:0>	0	电流通道（IB）ADC 模拟增益控制。 用户应根据传感器的输出信号大小确定 PGA，应保证最大信号与 PGA 的乘积小于基准电压。 00: ×4; 01: ×1; 10: ×32; 11: ×16。

寄存器	位	默认值	说明
	Bit[23:22] GIA<1:0>	0	电流通道（IA）ADC 模拟增益控制。 用户应根据传感器的输出信号大小确定 PGA，应保证最大信号与 PGA 的乘积小于基准电压。 00: ×32; 01: ×16; 10: ×4; 11: ×1。

表 8-2 电压/电流通道模拟增益配置

寄存器	位	默认值	说明
0x0182 AnaCtrl0	Bit[9:8] IT<1:0>	0	调节全局偏置电流。00: -33%; 01: 1; 10: -66%; 11: -75%。 正常计量时，为获取最佳性能，建议配置为 00。

表 8-3 电压/电流通道模拟增益配置

寄存器	位	默认值	说明
0x0183 AnaCtrl1	Bit[29:28] CSEL<1:0>	0	调整 I 通道 ADC 的密勒电容。00: 不调整; 01: 增加 33%; 10: 增加 66%; 11: 增加 100%。 正常计量时，为获取最佳的计量性能和温度性能，建议配置为 0b01。

8.2 模拟/数字转换

计量芯片中的电压/电流通道 ADC 均采用二阶 $\Sigma - \Delta$ ADC 结构。默认情况下，所有 ADC 均关闭。

表 8-4 电压/电流 ADC 开启与关闭

寄存器	位	默认值	说明
0x0180 SysCtrl	Bit29 ADCUPDN	0	将该位置 1 开启 U 通道 ADC。U 通道 ADC 默认关闭。
	Bit28 ADCIBPDN	0	将该位置 1 开启 IB 通道 ADC。IB 通道 ADC 默认关闭。
	Bit27 ADCIAPDN	0	将该位置 1 开启 IA 通道 ADC。IA 通道 ADC 默认关闭。

8.3 角差校正

模拟信号经 ADC 转换为数字信号后被输入角差校正模块进行角差校正，以消除因采样电路和 ADC 的失配而引起的电压/电流信号之间的相位差。

电压 (U) / 电流 (I) 信号输入一个由延时链组成角差校正电路，根据电压和电流之间的相位超前或滞后关系，选择将其中一路信号送入延时电路进行角差校正。在寄存器 0x00F7 中，用户可分别配置 IA 和 IB 通道的角差。



图 8-3 角差校正原理图

表 8-5 角差校正相关寄存器

寄存器	位	默认值	说明
0x00F7	Bit[24:16] PHCIB	0	其中 Bit24 是 IB 通道角差校正值符号位。 1: 延时电压信号; 0: 延时电流信号。 Bit[24:16]格式: 二进制补码。 当计量芯片工作时钟 (f_{smp1}) 为 3.2768MHz 时, 角差校正的分辨率为 0.005°/bit, 总校正量 (绝对值) 为 1.4°。
PHC	Bit[8:0] PHCIA	0	其中 Bit8 是 IA 通道角差校正值符号位。 1: 延时电压信号; 0: 延时电流信号。 Bit[8:0]格式: 二进制补码。 当计量芯片工作时钟 (f_{smp1}) 为 3.2768MHz 时, 角差校正的分辨率为 0.005°/bit, 总校正量 (绝对值) 为 1.4°。

角差校正电路的采样频率 (f_{smp1}) 默认为 3.2768MHz, 此时, 角差校正分辨率为 0.005°/lsb, 总校正量为 ±1.4°。角差校正电路的采样频率 (f_{smp1}) 由 CKMDIV 位 (bit19, SysCtrl, 0x0180) 的配置决定。

角差校正需要在 PF=0.5L 的时候进行, 写入角差校正控制寄存器的值 (N) 的可通过以下公式计算得到 (对计算结果四舍五入取整):

$$N = Round\left(\frac{3011}{2} \times E \times \frac{f_{smp1}}{819200}\right) \quad \text{公式 8-2}$$

其中,

N 为写入角差校正相关寄存器的值, 带符号。用二进制补码表示。

f_{smp1} 的值由 CKMDIV 位 (bit19, SysCtrl, 0x0180) 的配置决定, Hz;

E 为台体显示的误差。

表 8-6 不同 f_{smp1} 下的角差分辨率和校正范围

N 取值范围	频率控制位配置	f_{smp1} (Hz)	角差分辨率 (°/lsb)	校正范围 (°)	
[-255, +255]	CKMDIV	0	3276800	0.005	1.4
	bit19, 0x0180	1	819200	0.022	5.6

8.4 数字信号输入及去直流

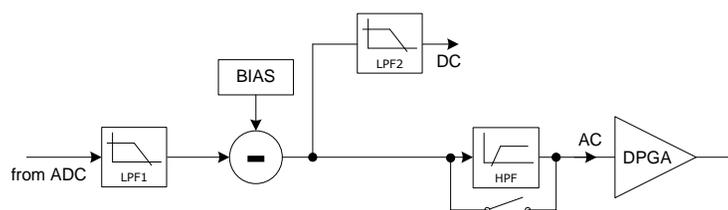


图 8-4 数字信号输入和去直流信号处理（以 I 通道为例）

过采样 Σ/Δ ADC 输出 1bit 码流伴有大量的高频噪声，在计量芯片设计中，用低通滤波器（LPF1）来抑制该噪声，并进行降采样处理，最终得到 29-bit（bit[28:27]为符号位）的信号原始波形。

通过配置系统控制寄存器（SysCtrl, 0x0180）中的 bit[29:27]，用户可以决定是否将 ADC 输出的数字信号输入低通滤波器（LPF1）中进行降采样处理。开启该功能时，ADC 的输出信号被累加进入低通滤波器（LPF1）；关闭该功能时，低通滤波器（LPF1）输出为零。

在 I 通道和 U 通道里，电压和电流信号原始波形被输入一个减法器，通过在寄存器 IAADCC（0x0104）、IBADCC（0x0105）和 UADCC（0x0106）中设置的直流偏置值，消掉由外部器件及 ADC 引入的直流漂移。

之后，信号分别进行了如下处理：

- 信号被输入另一个低通滤波器（LPF2），得到各通道信号的直流分量，并存于相应的直流分量寄存器中；
- 默认情况下，信号被输入一个高通滤波器，去除各通道原始输入信号本身所带的直流分量，从而得到相应信号的交流分量，并将该交流分量送入后续电路参与功率/有效值计算，提高计算结果的准确度。

获得 IA、IB 和 U 通道中过采样 ADC 自身引入的直流偏置值的方法是：

- （1）配置 SysCtrl（0x0180）中的 Bit[13:12]，SHORTU 和 SHORTI 都配置为 1；
- （2）读取直流测量寄存器 UDCINST（0x00D9）、IADCINST（0x00DA）和 IBDCINST（0x00DB）中的值，并写入寄存器 IAADCC（0x0104）、IBADCC（0x0105）和 UADCC（0x0106）中；
- （3）恢复 SysCtrl（0x0180）中的 Bit[13:12]，SHORTU 和 SHORTI 都配置为 0；

在直流计量的应用场景，用户可通过配置 BPHPF 位（bit2, SysCtrl, 0x0180）寄存器关闭去直流用的高通滤波器，并配置寄存器 IAADCC（0x0104）、IBADCC（0x0105）和 UADCC（0x0106）中设置的直流偏置值，消掉由外部器件及 ADC 引入的直流漂移，即可以实现直流功率的计算。

电压/电流信号的直流分量寄存器的数据格式均为 32-bit 补码，读操作有效，写入操作无意义。

当电能计量时钟频率为 3.2768MHz 时，直流分量寄存器的数据更新时间为 160ms，稳定时间为 320ms。

当电能计量时钟频率为 819.2kHz 时，直流分量寄存器的数据更新时间为 640ms，稳定时间为 1280ms。

表 8-7 直流分量计算相关寄存器

寄存器			说明
配置寄存器	0x0104	IAADCC	A 路电流 ADC 直流偏置校正
	0x0105	IBADCC	B 路电路 ADC 直流偏置校正
	0x0106	UADCC	电压 ADC 直流偏置校正
数据输出寄存器	0x00D9	UDCINST	瞬时电压直流分量值

寄存器			说明
	0x00DA	IADCINST	A 路瞬时直流分量值
	0x00DB	IBDCINST	B 路瞬时直流分量值

用户可通过系统控制寄存器（SysCtrl, 0x0180）配置电压信号的数字增益，将信号的交流分量放大，最大可配置为 4 倍，但应保证最大输入信号与总增益的乘积小于基准电压。推荐使用模拟增益进行增益调节。

表 8-8 电压信号的数字增益配置

寄存器	位	默认值	说明
0x0180	Bit1	0	配置电压（U）通道数字增益。
SysCtrl	PGAU		0: ×1; 1: ×4。

8.5 有效值计算

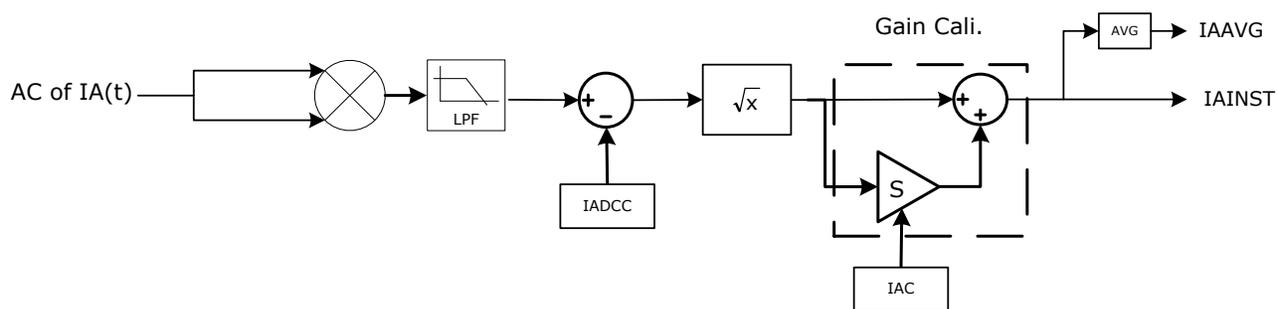


图 8-5 有效值信号处理

表 8-9 有效值相关寄存器

地址	寄存器	描述	R/W	数据格式
0x00CE	IAINST	A 路瞬时电流有效值	R	32-bit 二进制补码
0x00CF	UINST	瞬时电压有效值	R	32-bit 二进制补码
0x00D3	IAAVG	A 路平均电流有效值	R	32-bit 二进制补码
0x00D4	UAVG	平均电压有效值	R	32-bit 二进制补码
0x00D6	IBINST	B 路瞬时电流有效值	R	32-bit 二进制补码
0x00D8	IBAVG	B 路平均电流有效值	R	32-bit 二进制补码
0x00FD	IAC	A 路电流有效值比差校正	R/W	32-bit 二进制补码
0x00FE	IADCC	A 路电流有效值小信号校正	R/W	32-bit 二进制补码
0x00FF	UC	电压有效值比差校正	R/W	32-bit 二进制补码
0x0102	IBC	B 路电流有效值比差校正	R/W	32-bit 二进制补码
0x0103	IBDCC	B 路电流有效值小信号校正	R/W	32-bit 二进制补码

8.5.1 有效值计算公式

在计量芯片设计中，电压/电流有效值的计算公式（以电流为例）：

$$\text{电流有效值: } I_{rms} = \frac{\sqrt{2}}{2} \times 0.99992 \times PGAdi \times \frac{PGAi \times Ai}{1.210} \quad \text{公式 8-3}$$

其中，

PGAdi 为电流通道的数字增益；

PGAi 为电流通道的模拟增益；

Ai 为电流模拟输入信号的幅度（V）；

1.210 为基准电压（V）；

0.99992 为系统增益。

根据上述方法计算得到的是各通道信号的有效值原始值，经过比差校正后，得到有效值瞬时值（U/I），再经过秒平均，得到有效值平均值（U/I）。上述所有的值均存于相应的数据寄存器中。

当电能计量时钟频率为 3.2768MHz 时，所有电压/电流有效值原始值和瞬时值的更新时间为 10ms，稳定时间为 160ms；所有电压/电流有效值平均值的更新时间为 320ms，稳定时间为 960ms。

当电能计量时钟频率为 819.2kHz 时，所有电压/电流有效值原始值和瞬时值的更新时间为 40ms，稳定时间为 640ms；所有电压/电流有效值平均值的更新时间为 1.28s，稳定时间为 3.84s。

8.5.2 有效值比差校正

在计量芯片设计中，为了修正各个通道间的系统偏差，根据计算得到的电压/电流有效值均需要进行比差校正后才会存入对应的数据寄存器中。

设原始的有效值为 RMS'，校正补偿后的有效值为 RMS，比差校正值为 S，则，三者之间的关系如下：

$$RMS = RMS' \times (1 + S) \quad \text{公式 8-4}$$

用户可在有效值比差寄存器（IAC、IBC、UC）中设置相应的比差校正值。

8.5.3 有效值二次校正

为了消除串扰噪声，计量芯片支持有效值二次校正，用户通过设置 IADCC、IBDCC 和 UDCC 消除噪声功率。

以 IA 通道为例，实施方法如下：

校表台上电流输入置为 0，读出平均有效值 IAAVG，计算 IAAVG²，得到的 64bit 数据中，截取 bit[39:8] 作为有效值二次校正的经验值，写入寄存器 IADCC。

当重新加电流时，电流有效值的准确度会得到有效提升。

8.6 功率计算

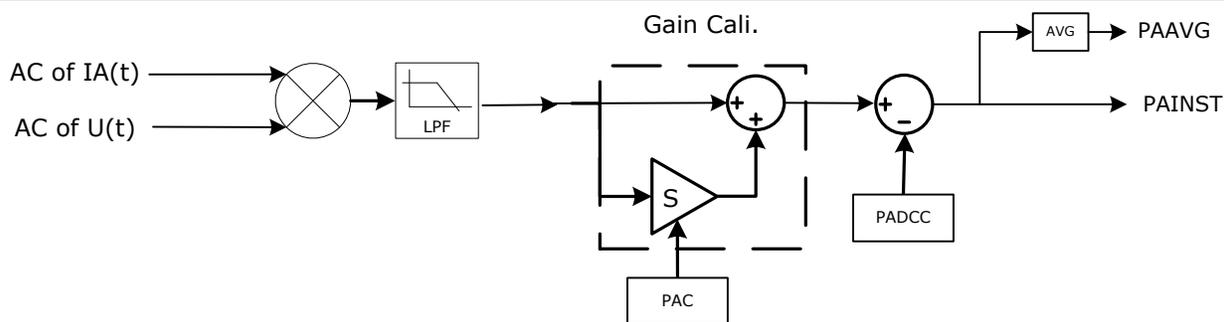


图 8-6 有功功率计算

有功功率的计算公式如下：

$$\text{有功功率: } P = \frac{1}{2} \times \frac{A_i \times \text{PGA}_i \times \text{PGAd}_i}{1.188} \times \frac{A_u \times \text{PGA}_u \times \text{PGAd}_u}{1.188} \times \cos\theta \times 0.99985 \quad \text{公式 8-5}$$

其中，

PGAd_i 和 PGAd_u 分别为电流和电压通道的数字增益；

PGA_i 和 PGA_u 分别为电流和电压通道的模拟增益；

A_i 和 A_u 分别为电流和电压模拟输入信号的幅度（V）；

θ 为电压与电流信号的相位差；

0.99985 为系统增益。

如上图所示，电压和电流信号相乘获得功率原始值，该数据经过校正修正各个通道间的系统偏差后，得到有功功率的瞬时值，存于相应的功率寄存器。另外，功率瞬时值经过低通滤波器后得到功率平均值。

当电能计量时钟频率为 3.2768MHz 时，所有有功功率瞬时值和原始值的更新时间为 160ms，稳定时间为 480ms；有功功率平均值的更新时间为 640ms，稳定时间为 1.28s。

当电能计量时钟频率为 819.2kHz 时，所有有功功率瞬时值和原始值的更新时间为 640ms，稳定时间为 1920ms；有功功率平均值的更新时间为 2.56s，稳定时间为 5.12s。

无功功率计算原理和方法与有功功率相同，这里不再赘述。芯片中只有一路无功功率计算，系统控制寄存器 SysCtrl（0x0180）的 bit0 用于选择 IA 还是 IB 参与无功功率计算。

表 8-10 功率值相关寄存器

地址	寄存器		R/W	数据格式
0x00CC	PAINST	A 路瞬时有功功率值	R	32-bit 二进制补码
0x00CD	QINST	瞬时无功功率值	R	32-bit 二进制补码
0x00D0	PAAVG	A 路平均有功功率值	R	32-bit 二进制补码
0x00D1	QAVG	平均无功功率值	R	32-bit 二进制补码
0x00D5	PBINST	B 路瞬时有功功率值	R	32-bit 二进制补码
0x00D7	PBAVG	B 路平均有功功率值	R	32-bit 二进制补码
0x00F6	PAC	A 通道有功功率比差校正	R/W	32-bit 二进制补码
0x00F8	PADCC	A 通道有功功率小信号校正	R/W	32-bit 二进制补码
0x00F9	QAC	A 路无功功率比差校正	R/W	32-bit 二进制补码

地址	寄存器		R/W	数据格式
0x00FA	QBC	B 路无功功率比差校正	R/W	32-bit 二进制补码
0x00FB	QADCC	A 无功功率小信号校正	R/W	32-bit 二进制补码
0x00FC	QBDCC	B 无功功率小信号校正	R/W	32-bit 二进制补码
0x0100	PBC	B 路有功功率比差校正	R/W	32-bit 二进制补码
0x0101	PBDCC	B 路有功功率小信号校正	R/W	32-bit 二进制补码

8.6.1 功率比差校正

在计量芯片设计中，为了修正各个通道间的系统偏差，根据计算得到的有功功率和无功功率均需要进行比差校正后才会存入对应的数据寄存器中。

设原始的有功功率为 P' ，校正补偿后的有效值为 P ，比差校正值为 S ，则，三者之间的关系如下：

$$P = P' \times (1 + S) \quad \text{公式 8-6}$$

用户可在功率比差寄存器（PAC、PBC、QC）中设置相应的比差校正。

8.6.2 功率二次校正

为了消除串扰噪声，计量芯片支持功率二次校正，用户通过设置 PADCC、PBDCC 和 QDCC 消除噪声功率。

8.7 电压频率和相位测量

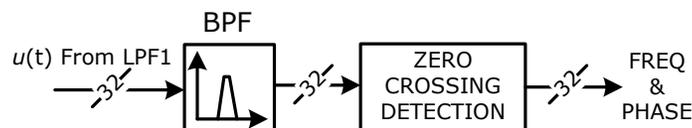


图 8-7 线电压频率和相位测量原理

8.7.1 电压频率测量

计量芯片提供电压频率测量值。对经过低通滤波器（LPF1）和带通滤波处理后的基波电压信号 $u(t)$ 以 6400Hz 的频率进行采样，并对采样点做正向过零点判断，每个周波（20ms）输出一个频率测量值（即两个正向过零之间的样点个数），存于频率瞬时值寄存器（FREQ, 0x00CB, 只读）。为了提高频率测量精度，对瞬时频率进行 16 周波平均处理，得到频率平均值（FREQAVG, 0x00D2 可读可写）。

因为频率测量的是基波电压的频率，所以需要电压数据进行带通滤波以消除数据中的直流、谐波和噪声。用户需配置滤波器系数才能确保频率测量的准确性。

表 8-11 带通滤波器系数配置寄存器（0x0107, BPF PARA, R/W）

地址	寄存器		R/W	说明	默认值
0x0107	BPF PARA	带通滤波器系数	R/W	该滤波器用于分离出基波信号，以便于更准确地进行频率测量和相位测量。在 3.2M 时钟, 客户需要写入 0x806764B6	0

电压频率值可以按如下公式计算：

$$f = 0.00390625 \times K' \times \frac{T8BAUD}{FREQAVG} \quad \text{公式 8-7}$$

其中：

f:实际的电压频率

T8BAUD: 寄存器 (0x00E0) 的值

FRQAVG: 频率平均值寄存器 (0x00D2) 的值

K ' : 实际波特率, 主控 MCU 已知量。

当发生 POR 复位、软件复位或 RX 复位时, 电压频率寄存器被复位。

表 8-12 电压频率数据寄存器

寄存器		说明
0x00CB	FREQINST	频率瞬时值寄存器。只读。当电能计量时钟频率为 3.2768MHz 时, 每 20ms 更新一次。
0x00D2	FREQAVG	频率平均值寄存器。可读可写。当电能计量时钟频率为 3.2768MHz 时, 每 320ms 更新一次。

8.7.2 电压相位测量

计量芯片支持电压相位测量功能, 其信号处理如图 8-7 所示, 工作原理是: 主控 MCU 通过 UART 广播命令往寄存器 PHS_STT (0x0198) 写 1, 芯片解析为相位测量命令后, 即开始用 6.4kHz 采样频率 (正常工作频率下, 此时电压信号每周波采样点数是 128 点, 即 6.4kHz 的采样频率) 进行计数, 直到判断正向过零点事件发生, 停止计数, 将此计数值写入相位寄存器 PHDAT (0x00DE) 中, 并且记录正向过零点前后两个电压采样值 ZXDATREG (0x00DC)、ZXDAT (0x00DD), 以便于用户做插值运算, 获得更高精度的相位值。

在多计量芯片系统中, 根据此寄存器的数值能判断各计量芯片间的相位关系及相位差。

表 8-13 相位测量相关寄存器 (R)

地址	寄存器	R	数据格式	默认值	说明
0x00DC	ZXDATREG	R	32-bit 二进制补码	0	电压过零点前一次采样值
0x00DD	ZXDAT	R	32-bit 二进制补码	0x80000000	电压过零点当前点采样值
0x00DE	PHDAT	R	32-bit 二进制补码	1	电压相位数据

8.8 校表

表 8-14 校表相关寄存器

地址	寄存器		R/W	数据格式
0x00CB	FREQINST	瞬时频率值	R	32-bit 二进制补码
0x00CC	PAINST	A 路瞬时有功功率值	R	32-bit 二进制补码
0x00CD	QINST	瞬时无功功率值	R	32-bit 二进制补码

地址	寄存器		R/W	数据格式
0x00CE	IAINST	A 路瞬时电流有效值	R	32-bit 二进制补码
0x00CF	UINST	瞬时电压有效值	R	32-bit 二进制补码
0x00D0	PAAVG	A 路平均有功功率值	R	32-bit 二进制补码
0x00D1	QAVG	平均无功功率值	R	32-bit 二进制补码
0x00D2	FREQAVG	平均频率值	R	32-bit 二进制补码
0x00D3	IAAVG	A 路平均电流有效值	R	32-bit 二进制补码
0x00D4	UAVG	平均电压有效值	R	32-bit 二进制补码
0x00D5	PBINST	B 路瞬时有功功率值	R	32-bit 二进制补码
0x00D6	IBINST	B 路瞬时电流有效值	R	32-bit 二进制补码
0x00D7	PBAVG	B 路平均有功功率值	R	32-bit 二进制补码
0x00D8	IBAVG	B 路平均电流有效值	R	32-bit 二进制补码
0x00F6	PAC	A 通道有功功率比差校正	R/W	32-bit 二进制补码
0x00F7	PHC	有功功率角差校正	R/W	<p>32-bit 二进制补码</p> <p>其中 Bit24 是 IB 通道角差校正值符号位。</p> <p>1: 延时电压信号; 0: 延时电流信号。</p> <p>Bit[24:16]表达的 32 位二进制补码的绝对值就是通道角差校正值的绝对值。</p> <p>当计量芯片工作时钟 (f_{smp1}) 为 3.2768MHz 时, 角差校正的分辨率为 0.005°/bit, 总校正量(绝对值)为 1.4°。</p> <p>其中 Bit8 是 IA 通道角差校正值符号位。</p> <p>1: 延时电压信号; 0: 延时电流信号。</p> <p>Bit[8:0]表达的 9 位二进制补码的绝对值就是通道角差校正值的绝对值。</p> <p>当计量芯片工作时钟 (f_{smp1}) 为 3.2768MHz 时, 角差校正的分辨率为 0.005°/bit, 总校正量(绝对值)为 1.4°。</p>
0x00F8	PADCC	A 通道有功功率小信号校正	R/W	32-bit 二进制补码
0x00F9	QAC	A 路无功功率比差校正	R/W	32-bit 二进制补码
0x00FA	QBC	B 路无功功率比差校正	R/W	32-bit 二进制补码
0x00FB	QADCC	A 无功功率小信号校正	R/W	32-bit 二进制补码
0x00FC	QBDC	B 无功功率小信号校正	R/W	32-bit 二进制补码
0x00FD	IAC	A 路电流有效值比差校正	R/W	32-bit 二进制补码

地址	寄存器		R/W	数据格式
0x00FE	IADCC	A 路电流有效值小信号校正	R/W	32-bit 二进制补码
0x00FF	UC	电压有效值比差校正	R/W	32-bit 二进制补码
0x0100	PBC	B 路有功功率比差校正	R/W	32-bit 二进制补码
0x0101	PBDCC	B 路有功功率小信号校正	R/W	32-bit 二进制补码
0x0102	IBC	B 路电流有效值比差校正	R/W	32-bit 二进制补码
0x0103	IBDCC	B 路电流有效值小信号校正	R/W	32-bit 二进制补码
0x0104	IAADCC	A 路电流 ADC 直流偏置校正	R/W	32-bit 二进制补码
0x0105	IBADCC	B 路电路 ADC 直流偏置校正	R/W	32-bit 二进制补码
0x0106	UADCC	电压 ADC 直流偏置校正	R/W	32-bit 二进制补码
0x0107	BPF PARA	带通滤波器系数	R/W	该滤波器用于分离出基波信号, 以便于更准确地进行频率测量和相位测量。在 3.2M 时钟下, 客户需要写入 0x806764B6
0x0108	UDCC	电压有效值小信号校正	R/W	32-bit 二进制补码

8.8.1 计算公式

8.8.1.1 电压/电流有效值寄存器

在校正电压/电流平均有效值时, 寄存器的数值与输入信号间的关系如下:

$$RMS = V \times G \times K \quad \text{公式 8-8}$$

其中:

V: 输入信号有效值;

G: 当前增益;

K: 换算系数, $K=9.19495302 \times 10^8$ 。

例 1: 电压通道的采样信号为 36.7mV, 增益为 4, 则平均电压有效值寄存器 (0x00D4) 的值应为:

$$RMS = 0.0367 \times 4 \times 9.19495302 \times 10^8 = 0x80BA916$$

8.8.1.2 功率寄存器

包括: 有功功率平均值寄存器 (PAAVG, 0x00D0) 和无功功率平均值寄存器 (QAVG, 0x00D1)。

有功功率寄存器的值可根据以下公式计算:

$$P = V_i \times G_i \times V_v \times G_v \times B_p \times \cos\theta \quad \text{公式 8-9}$$

其中:



V_i 和 V_v : 分别为电流和电压通道输入信号有效值;

G_i 和 G_v : 分别为电流和电压通道的增益;

B_p : 换算系数, $B_p=7.09441 \times 10^8$;

$\cos\theta$: 功率因数, θ 为电流信号与电压信号之间的相位差。

例: 当 V_v 为 36.7mV, G_v 为 4, V_i 为 0.875mV, G_i 为 32, $\cos\theta$ 为 1, 进行有功计量时, 有功功率平均值寄存器 (PAAVG, 0x00D0) 的值应为:

$$P_{\text{value}} = 0.000875 \times 32 \times 0.0367 \times 4 \times 7.09441 \times 10^8 = 0x2C7EF6$$

无功功率换算系数与有功功率相同, 不再赘述。

$$Q = V_i \times G_i \times V_v \times G_v \times B_p \times \sin\theta \quad \text{公式 8-10}$$

8.8.1.3 比例系数计算

根据公式 8-8/公式 8-9/可以计算得到电流/电压有效值/功率寄存器的数据(计算所得数据与直接读取相应寄存器数据两者之间会有差异, 但是相差不大)。这些数据只是 ADC 采样数据, 如果要将其转化为直观的有效值/功率数据, 用户需要通过以下公式计算得到一个固定的比例系数, 并将寄存器的实际读数与该比例系数相乘, 从而得到正确的电压/电流有效值/功率, 即 LCD 屏上显示的有效值和功率数据。

$$D = \frac{V_n}{\text{Value}} \quad \text{公式 8-11}$$

其中:

Value: 根据公式 8-8/公式 8-9/公式 8-10。计算得到的电压/电流有效值/有功功率值/无功功率值;

V_n : 额定电压/电流/功率值。

8.8.1.4 角差校正

角差校正是为了保证在低功率因数下也能保持一定的计量精度。必须先完成功率比差校正, 再做角差校正。

角差校正寄存器 (PHC, 0x00F7) 的 bit[24:16]和 bit[8:0]的二进制补码对应的数值用于设置角差校正。

角差校正需要在 PF=0.5L 的时候进行, 写入角差校正控制寄存器的值 (N) 的可通过以下公式计算得到(对计算结果四舍五入取整):

$$N = \text{Round}\left(\frac{3011}{2} \times E \times \frac{f_{\text{smpL}}}{819200}\right) \quad \text{公式 8-12}$$

其中:

N 为写入角差校正相关寄存器的值, 带符号。用二进制补码表示。

f_{smpL} 的值由 CKMDIV 位 (bit19, SysCtrl, 0x0180) 的配置决定, Hz;

E 为台体显示的误差。

8.8.1.5 比差校正寄存器

包括功率和有效值的所有比差寄存器。

比差寄存器的值可根据以下公式计算:

$$S = 2^{31} \left(\frac{1}{1+e} - 1 \right) + S_1 \left(\frac{1}{1+e} \right) \quad \text{公式 8-13}$$

其中：

S：写入有效值/功率比差校正寄存器的值，二进制补码；

S₁：原始比差值，即未校正有效值/功率比差校正寄存器显示的原始值，二进制补码；

e：误差。进行功率比差校正时，e 为台体显示的误差值（E）；进行电流/电压有效值校正时，e 为根据公式 8-16 或公式 8-17 计算得到的误差值（E_i 或 E_u）。

8.8.1.6 功率二次补偿寄存器

包括：有功/无功功率二次补偿值寄存器。

功率二次补偿寄存器的值（C）可由以下公式计算得到：

$$C = -E \times P \times a\% \quad \text{公式 8-14}$$

其中：

E：当功率因数为 1.0 时，向校表台体通 a%I_b 时台体显示的误差；

P：功率寄存器的值，由公式 8-9 或公式 8-10 计算可得。

8.8.2 校表方法

8.8.2.1 参数设置

设计电表时，用户应确定以下所有参数，包括：

1. 表型参数：包括额定电流、额定电压、脉冲常数、精度等级等；
2. 设计参数：包括通入额定电压和电流时，电压和电流采样信号有效值的大小；
3. 电压和电流通道 ADC 的模拟增益倍数；
4. 根据公式 8-11 计算电流/电压有效值和功率寄存器读数与实际值之间的比例系数（D）；

8.8.2.2 校正功率

误差计算方法：

读取校表台体上显示的有功功率值 P_n。

从电表 LCD 读取有功功率值 P₁（P₁ 为平均有功功率寄存器的值与有功功率比例系数 D 的乘积）。

根据下述方法计算有功功率的误差值：

$$\text{计算误差：} E_p = \frac{P_1 - P_n}{P_n} \quad \text{公式 8-15}$$

1. 比差校正（以有功功率为例）

在 PF=1.0 的情况下，向校表台通 100%I_b 和 100%U_n。根据误差计算方法计算误差（E），接着读取有功功率比差寄存器（PAC，0x00F6）的值（即原始比差值 S₁），再按公式 8-13 计算有功功率的比差值，并将其写入寄存器 PAC（0x00F6）。

2. 角差校正

在进行角差校正时，必须先将寄存器 PHC（0x00F7）清零。完成功率比差校正后，在 PF=0.5L 的情况下，向校表台体通 100%I_b 和 100%U_n。根据误差计算方法计算误差（E），再根据公式 8-12 计算得到角差

校正值，并将其写入角差校正寄存器的相应位。

3. 功率二次补偿（可选）

在 PF=1.0 的情况下，向校表台体通 5%I_b（通常，也可通入 2%I_b）和 100%U_n。根据误差计算方法计算误差（E），根据公式 8-14 计算得到二次补偿值，并写入相应的功率二次补偿值寄存器。

8.8.2.3 校正电流有效值

1. 向电流有效值比差寄存器中写入 0；
2. 当功率因数为 1.0 时，向校表台体通 100%I_b 电流；
3. 从电表 LCD 读取电流有效值 I₁（I₁ 为平均电流有效值寄存器的值与电流有效值比例系数 D 的乘积）；
4. 根据下述方法计算电流有效值的比差值：

$$\text{先计算误差: } E_i = \frac{I_1 - I_b}{I_b} \quad \text{公式 8-16}$$

电流单位为 mA，或者保持一致；

再根据公式 8-13 计算比差，并将该值写入电流有效值比差寄存器。

8.8.2.4 电流有效值二次补偿（可选）

以 IA 通道为例，实施方法如下：

校表台体电流输入置为 0，读出平均有效值 IAAVG，计算 IAAVG²，得到的 64bit 数据中，截取 bit[39:8] 作为有效值二次校正的经验值，写入寄存器 IADCC。

当重新加电流时，电流有效值的准确度会得到有效提升。

8.8.2.5 校正电压有效值

1. 向电压有效值比差寄存器中写入 0；
2. 校表台体通 100%U_n 电压；
3. 从电表 LCD 读取电压有效值 U₁（U₁ 为平均电压有效值寄存器的值与电压有效值比例系数 D 的乘积）；
4. 根据下述方法计算电压有效值的比差值：

$$\text{先计算误差: } E_u = \frac{U_1 - U_n}{U_n} \quad \text{公式 8-17}$$

电压单位为 mV，或者保持一致；

再根据公式 8-13 计算比差，并将该值写入电压有效值比差寄存器。

第9章 中断

计量芯片的中断电路可根据不同的事件产生 3 个中断信号，当中断输出使能时，相应的中断事件会在 INT 引脚上输出中断，向外部 MCU 提起中断。无论是否输出中断，用户均可读取中断标志位。

- 参数配置自检错误中断：不可屏蔽输出；
- 电压符号位中断：电压符号位作为中断输出，可屏蔽输出；
- 掉电中断：可屏蔽输出。详见“掉电监测电路”；

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 (R/W)

寄存器	位	默认值	说明
0x0180 SysCtrl	Bit5, IEHSE	0	为保证系统正常工作，必须写入默认值。
	Bit4, IEPDN	0	使能掉电中断输出。1：使能；0：禁止（默认）。
	Bit3, IESUL	0	使能电压符号位输出。1：使能；0：禁止（默认）。

表 9-2 中断标志相关寄存器 (R)

寄存器	位	默认值	说明																								
0x00CA SysSts	Bit11 USIGN	0	对该位进行读操作判断电压信号符号。该标志位不可清空，会跟随电压符号位翻转。1：负号；0：正号。																								
	Bit7 PDN	0	掉电中断标志位。当系统发生掉电时，即 VDD33 引脚上的电平低于掉电阈值时，该位读出值为 1。当掉电事件消失后，该标志位读出值为 0。																								
	Bit6 PDN_R	0	掉电中断标志位锁存值。当系统发生掉电时，即 VDD33 引脚上的电平低于掉电阈值时，该位读出值为 1。当掉电事件消失后，该标志位读出值为 1，需要手动清零。																								
	Bit[5:3] RSTSRC	0	Bit[5:3]只读。 <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Bit5</th> <th>Bit4</th> <th>Bit3</th> <th>说明</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>1</td> <td>系统发生 POR 复位。</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>保留。</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>系统发生 RX 复位。</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>0</td> <td>保留。</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>系统发生软件复位。</td> </tr> </tbody> </table>	Bit5	Bit4	Bit3	说明	0	0	1	系统发生 POR 复位。	0	0	0	保留。	0	1	1	系统发生 RX 复位。	0	1	0	保留。	1	0	0	系统发生软件复位。
	Bit5	Bit4	Bit3	说明																							
0	0	1	系统发生 POR 复位。																								
0	0	0	保留。																								
0	1	1	系统发生 RX 复位。																								
0	1	0	保留。																								
1	0	0	系统发生软件复位。																								
Bit2 CHKERR	0	0	参数配置自检错误中断标志位。 读出值每 5ms 刷新一次。 对该位进行读操作判断是否发生 参数配置自检错误中断 。计量芯片对所有系统控制寄存器、校表参数寄存器的配置值进行累加，如果它们的累加和为 0xFFFFFFFF，则 参数配置自检校验 通过，该位读出值为 0；否则，自检失败，																								

寄存器	位	默认值	说明
			该位读出值为 1。当该标志位读出值为 1 时，只有使上述寄存器配置值的累加和为 0xFFFFFFFF，参数配置自检校验通过，该标志位才会自动清零。

9.1 参数配置自检错误中断

计量芯片每 5ms 对下表所示的所有寄存器的值进行一次累加。

配置下表所示的所有寄存器[在寄存器 CKSUM (0x0109) 中写入 0xFFFFFFFF 与其它 23 个寄存器的累加和的差值]，自检电路会对上述所有寄存器的配置值进行累加，如果累加和为 0xFFFFFFFF，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 (bit2, SysSts) 置 1，同时在引脚 INT 上输出高电平，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为 0xFFFFFFFF，即自检通过时，该中断标志位自动清零。

在初始状态下，参数配置自检失败，引脚 INT 输出高电平。

表 9-3 参与配置自检的寄存器

序号	寄存器			R/W	默认值
1	0x00F6	PAC	A 通道有功功率比差校正	R/W	0
2	0x00F7	PHC	有功功率角差校正	R/W	0
3	0x00F8	PADCC	A 通道有功功率小信号校正	R/W	0
4	0x00F9	QAC	A 路无功功率比差校正	R/W	0
5	0x00FA	QBC	B 路无功功率比差校正	R/W	0
6	0x00FB	QADCC	A 无功功率小信号校正	R/W	0
7	0x00FC	QBDCC	B 无功功率小信号校正	R/W	0
8	0x00FD	IAC	A 路电流有效值比差校正	R/W	0
9	0x00FE	IADCC	A 路电流有效值小信号校正	R/W	0
10	0x00FF	UC	电压有效值比差校正	R/W	0
11	0x0100	PBC	B 路有功功率比差校正	R/W	0
12	0x0101	PBDCC	B 路有功功率小信号校正	R/W	0
13	0x0102	IBC	B 路电流有效值比差校正	R/W	0
14	0x0103	IBDCC	B 路电流有效值小信号校正	R/W	0
15	0x0104	IAADCC	A 路电流 ADC 直流偏置校正	R/W	0
16	0x0105	IBADCC	B 路电路 ADC 直流偏置校正	R/W	0
17	0x0106	UADCC	电压 ADC 直流偏置校正	R/W	0
18	0x0107	BPF PARA	带通滤波器系数	R/W	0
19	0x0108	UDCC	电压有效值小信号校正	R.W	0
20	0x0109	校验和寄存器	CKSUM	R/W	0
21	0x0180	SysCtrl	系统配置寄存器	R/W	0

序号	寄存器			R/W	默认值
22	0x0182	AnaCtrl0	模拟控制寄存器 0	R/W	0
23	0x0183	AnaCtrl1	模拟控制寄存器 1	R/W	0

9.2 电压过零点中断

在计量芯片设计中，会以 6.4kHz 的频率对电压信号进行采样，判断电压是否过零点。当电压信号正向或反向过零点时，电压信号符号位 USIGN (bit11, SysSts) 会随着电压符号自动翻转。

使能电压符号位输出时，即 IESUL 位 (bit3, SysCtrl) 置 1，引脚 INT 的输出电平自动根据电压符号位翻转：输出高电平表明电压符号为负；输出低电平表明电压符号为正。

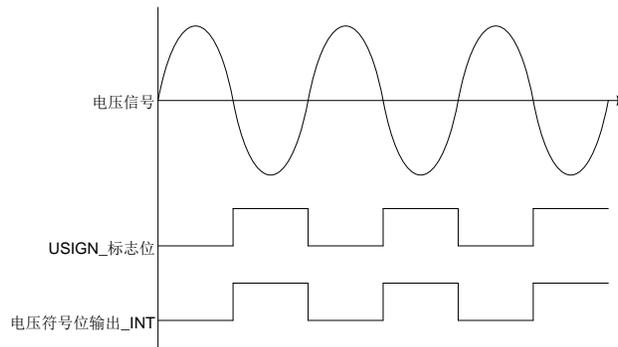
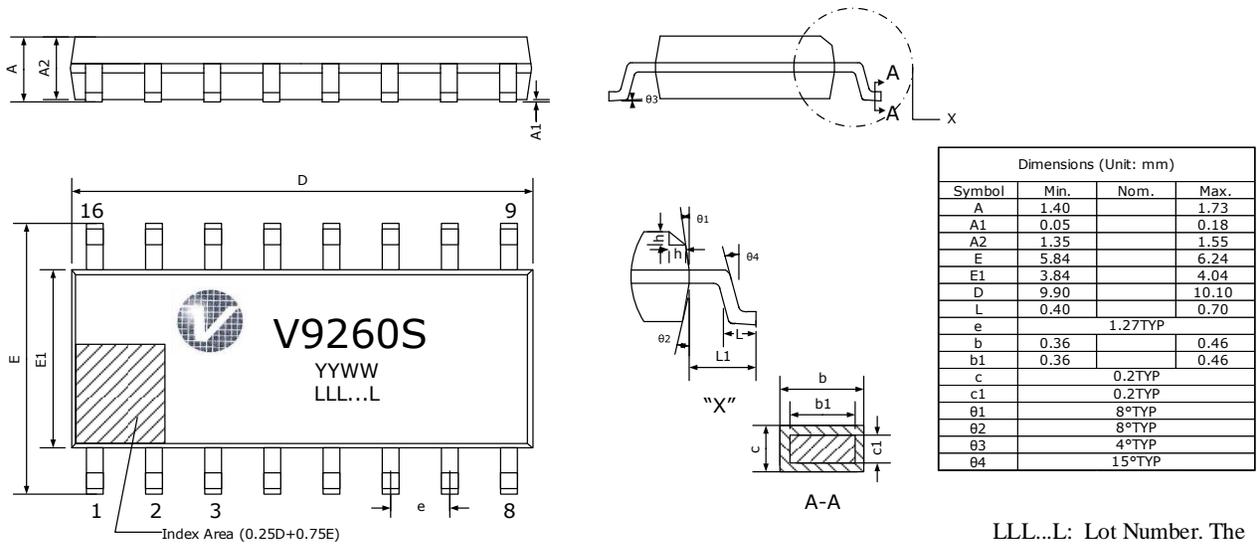


图 9-1 电压过零点中断

第10章封装尺寸图



LLL...L: Lot Number. The number of characters of Lot Number varies between 8 to 11.
 YY: Year
 WW: Week

V9260S 封装尺寸图

图索引

图 2-1 POR 时序图	22
图 2-2 RX 复位时序图	22
图 2-3 软件复位时序图.....	23
图 3-1 时钟产生电路.....	24
图 5-1 电源系统	27
图 5-2 掉电中断	28
图 7-1 UART 通信的字节结构	30
图 7-2 读/写/广播写操作时外部 MCU 对计量芯片发送的命令帧（8 个字节）	30
图 7-3 计量芯片的 UART 接口接收与发送一个字节帧的时序	31
图 8-1 电流输入方式	35
图 8-2 电压输入方式	36
图 8-3 角差校正原理图.....	38
图 8-4 数字信号输入和去直流信号处理（以 I 通道为例）	39
图 8-5 有效值信号处理	40
图 8-6 有功功率计算	42
图 8-7 线电压频率和相位测量原理	43
图 9-1 电压过零点中断.....	52

索引

表 1-1 系统控制寄存器 0 (0x0180, SysCtrl, R/W)	11
表 1-2 模拟控制寄存器 1 (0x0183, AnaCtrl1, R/W)	14
表 1-3 功率/有效值/小信号比差/角差校正寄存器 (R/W)	14
表 1-4 校验和寄存器 (CKSUM, R/W)	16
表 1-5 软件复位寄存器 (SFTRST, W)	16
表 1-6 系统状态寄存器 (0x00CA, SysSts, R)	16
表 1-7 系统状态清除寄存器 (0x019D, SysStsClr, R/W)	18
表 1-8 计量数据寄存器	18
表 2-1 复位相关寄存器	21
表 3-1 时钟产生电路相关寄存器	24
表 4-1 初始状态下各功能模块的工作状态	26
表 6-1 Bandgap 电路相关寄存器	29
表 7-1 UART 接口时序参数说明	31
表 7-2 写操作时外部 MCU 向计量芯片发送的命令帧结构 (仅列出各字节的数据位 B7:B0)	32
表 7-3 写操作时计量芯片向外部 MCU 发送的应答帧结构 (仅列出各字节的数据位 B7:B0)	32
表 7-4 读操作时外部 MCU 向计量芯片发送的命令帧结构 (仅列出各字节的数据位 B7:B0)	32
表 7-5 读操作时计量芯片向外部 MCU 发送的应答帧结构 (仅列出各字节的数据位 B7:B0)	33
表 7-6 广播写操作时外部 MCU 向计量芯片发送的命令帧结构 (仅列出各字节的数据位 B7:B0)	34
表 8-1 电压/电流通道模拟增益配置	36
表 8-2 电压/电流通道模拟增益配置	37
表 8-3 电压/电流通道模拟增益配置	37
表 8-4 电压/电流 ADC 开启与关闭	37
表 8-5 角差校正相关寄存器	38
表 8-6 不同 f_{smp} 下的角差分辨率和校正范围	38
表 8-7 直流分量计算相关寄存器	39
表 8-8 电压信号的数字增益配置	40
表 8-9 有效值相关寄存器	40
表 8-10 功率值相关寄存器	42
表 8-11 带通滤波器系数配置寄存器 (0x0107, BPF PARA, R/W)	43
表 8-12 电压频率数据寄存器	44
表 8-13 相位测量相关寄存器 (R)	44
表 8-14 校表相关寄存器	44
表 9-1 中断输出使能相关寄存器 (R/W)	50



表 9-2 中断标志相关寄存器 (R)	50
表 9-3 参与配置自检的寄存器	51

版本更新说明

时间	版本	说明
2016-12-29	V1.0	首次发布
2017-05-04	V1.1	修改 V9260S 管脚定义, 修正系统状态寄存器描述错误的章节, 增加校表相关描述。
2017-05-19	V1.1.1	更新校表公式、内部 RC 时钟频率范围等描述。
2017-06-14	V1.1.2	开放模拟控制寄存器, 增加温度传感器相关描述, 修改 IB 模拟增益描述的错误。
2017-07-05	V1.1.3	修订内部高频 RC 时钟偏离理论值的范围。
2017-10-10	V1.1.4	修改 RX 复位时序图及描述
2017-11-01	V1.1.5	电源和所有 IO 口能承受的最大电压为 3.6V; T8BAUD 的地址由 0x0186 改为 0x00E0; 完善 RCTRIM 寄存器的描述; 增加参考电压源 Bandgap REF 温度系数调节应用例; 删除 LDO3VSEL 的描述。
2017-11-08	V1.2	修改 V9260S 的封装管脚定义, 只支持无晶振输入。
2018-3-12	V3.0	修改基准电压为 1.210V 基准电压调整没有推荐配置, 用户必须根据计算结果自己调整, 计算方法见电压基准电路章节。 修改电源图、修改时钟图、修改停电检测图等。
2018-3-27	V3.1	修改有效值二次校正算法
2018-5-31	V3.2	修改角差校正公式, 直接使用简化公式, 理论公式不再描述。
2018-9-1	V3.3	V9260S 功耗典型值为 1.7mA, 范围为+/-10%。 工作电压范围 2.9~3.6V 掉电阈值的典型值是 2.7V, 范围 2.5V~2.9V 储存温度为-55~150 增加模拟寄存器 0 (0x182) 和模拟寄存器 1 (0x183) 的描述
2019-1-17	V3.4	去掉启动潜动门限部分功能描述
2019-11-29	V3.5	增加芯片 mark 说明 修改支持的最高波特率为 19200bps

2020-8-10	V3.7	增加 PN 结结温 修改 SysSts 的 Bit[5:3]为只读
2021-4-13	V3.8	更新 IEC 标准