

HT7136

用户手册

钜泉光电科技（上海）股份有限公司

Tel: 021-51035886
Fax: 021-50277833
Email: sales@hitrendtech.com
Web: <http://www.hitrendtech.com>

版本修改说明

版本号	修改记录	修改内容
V1.0	2020/08/17	创建初稿
V1.1	2021/02/24	<ol style="list-style-type: none">1. 修改OSR128的说明，不建议客户使用；2. 修改管脚说明，PIN43 VDD管脚更改为VDD1P2, 为内部输出1.2V, 外接电容即可。3. 修改电能过流功能的说明；4. 删除Vref外灌输入时需要开关选择的说明；5. 勘误
V1.2	2022/12/15 Aqiangzhao	<ol style="list-style-type: none">1. 修改公司图标2. ChipID修改为7022E13. 修改校表寄存器有效值offset名称4. 增加温度传感器模块说明

目录

版本修改说明.....	2
目录.....	3
1. 芯片概况.....	7
1.1 芯片简介.....	7
1.2 芯片特性.....	7
1.3 整体框图.....	9
1.4 引脚定义.....	10
2. 功能描述.....	13
2.1 SLEEP/全失压模式.....	13
2.1.1 工作模式.....	13
2.1.2 应用模式功能列表.....	13
2.1.3 模式转换图.....	14
2.1.4 Reset 后芯片状态.....	14
2.2 芯片复位源.....	14
2.2.1 复位优先级:	15
2.3 系统功耗列表.....	15
2.4 ADC 模块.....	15
2.4.1 特性.....	15
2.4.2 参数.....	15
2.5 基准电压 VREF.....	16
2.5.1 参数.....	16
2.6 POR&LBOR.....	16
2.6.1 LBOR 参数.....	16
2.7 硬件端口检测.....	16
2.8 片上温度检测.....	16
2.9 有效值测量.....	17
2.9.1 电流有效值测量.....	17
2.9.2 电压有效值测量.....	17
2.9.3 线电压测量.....	17
2.10 有功计算.....	17
2.10.1 有功功率计算.....	17
2.10.2 有功能量计算.....	18
2.11 无功计算.....	19
2.11.1 无功功率计算.....	19
2.11.2 无功能量计算.....	19
2.12 视在计算.....	19
2.12.1 视在功率计算.....	19
2.12.2 视在能量计算.....	20
2.13 三相三线/四线应用.....	21

2.14 ADC 采样数据缓冲功能.....	22
2.14.1 相关寄存器.....	22
2.15 同步采样数据缓冲功能.....	23
2.16 电能质量管理.....	23
2.16.1 SAG/PEAK/INT 功能.....	23
2.16.2 过流检测功能定义.....	25
2.16.3 角度算法.....	25
2.16.4 脉冲产生机制.....	25
2.16.5 功率方向判断.....	25
2.16.6 启动/潜动.....	25
2.16.7 基波/谐波测量功能.....	26
2.16.8 基波无功功能.....	26
2.16.9 正反向能量.....	27
3. 通讯接口.....	28
3.1 SPI.....	28
3.1.1 SPI 通讯定义.....	28
3.1.2 SPI 初始化.....	29
3.1.3 特殊命令.....	31
3.1.4 校验和.....	32
3.1.5 SPI I/O 口状态.....	33
3.1.6 相关寄存器.....	33
4. EMU 寄存器.....	34
4.1 计量参数寄存器列表.....	34
4.2 计量参数寄存器说明.....	41
4.2.1 Device ID (Addr: 0x00) CHIPID (Addr: 0x5D)	41
4.2.2 功率寄存器 (地址: 0x01~0x0C, 0x40~0x43, 0x57~0x5A)	41
4.2.3 有效值寄存器 (地址: 0x0D~0x013, 0x29, 0x2B, 0x48~0x4D)	42
4.2.4 功率因数寄存器 (地址: 0x14~0x017)	44
4.2.5 功率角和电压夹角寄存器 (地址: 0x18~0x1A, 0x26~0x28)	44
4.2.6 线频率寄存器 (地址: 0x1C)	45
4.2.7 温度传感器数据寄存器 (地址: 0x2A)	45
4.2.8 能量寄存器 (地址: 0x1E~0x25, 0x35~0x38, 0x44~0x47)	46
4.2.9 快速脉冲计数寄存器 (地址: 0x39~0x3C, 0x53~0x56)	47
4.2.10 标志状态寄存器 (地址: 0x2C)	47
4.2.11 电能寄存器工作状态寄存器 (地址: 0x1D,0x4E)	49
4.2.12 功率脉冲方向寄存器 (地址: 0x3D)	50
4.2.13 中断标志寄存器 (地址: 0x1B)	51
4.2.14 ADC 采样数据寄存器 (地址: 0x2F~0x34, 0x3F)	52
4.2.15 校表数据校验和寄存器 (地址: 0x3E/5E)	53
4.2.16 通讯数据备份寄存器 (地址: 0x2D)	53
4.2.17 通讯校验和寄存器 (地址: 0x2E)	53
4.2.18 SAG 标志寄存器(0x4F).....	54

4.2.19 峰值电压寄存器(0x50~0x52).....	54
4.3 校表参数寄存器列表.....	55
4.4 校表参数寄存器说明.....	59
4.4.1 模式配置寄存器 (地址: 0x01)	59
4.4.2 ADC 增益配置寄存器 (地址: 0x02)	60
4.4.3 EMU 单元配置 (地址: 0x03)	60
4.4.4 功率增益补偿寄存器(地址: 0x04~0x0C).....	61
4.4.5 相位校正寄存器(地址: 0x0D~0x12, 0x61~0x63).....	62
4.4.6 功率 offset 校正 (地址: 0x13~0x15, 0x21~0x23, 0x64~0x69).....	63
4.4.7 基波无功相位校正寄存器(地址: 0x16).....	63
4.4.8 电压增益校正寄存器(地址: 0x17~0x19).....	64
4.4.9 电流增益校正寄存器(地址: 0x1A~0x1C, 0x20).....	64
4.4.10 起动电流设置寄存器 (地址: 0x1D).....	65
4.4.11 高频脉冲常数设置(地址: 0x1E).....	65
4.4.12 失压阈值设置寄存器(地址: 0x1F).....	66
4.4.13 有效值 offset 校正 (地址: 0x24~0x29, 0x3C, 0x6A).....	67
4.4.14 ADC offset 校正 (地址: 0x2A~0x2F).....	67
4.4.15 中断使能寄存器 (地址: 0x30).....	67
4.4.16 模拟模块使能寄存器 (地址: 0x31).....	68
4.4.17 全通道增益寄存器 (地址: 0x32).....	69
4.4.18 脉冲加倍寄存器 (地址: 0x33).....	69
4.4.19 基波增益寄存器 (地址: 0x34).....	70
4.4.20 IO 状态配置寄存器 (地址: 0x35).....	70
4.4.21 起动功率寄存器 (地址: 0x36).....	71
4.4.22 相位补偿区域设置寄存器(地址: 0x37/0x60).....	71
4.4.23 SAG 过流检测数据长度设置寄存器(0x38).....	72
4.4.24 SAG 检测阈值设置寄存器(0x39).....	72
4.4.25 过流检测阈值设置寄存器(0x71).....	73
4.4.26 自动温度补偿相关寄存器(0x6B~0x6F).....	74
4.4.26.1 Toffset 校正寄存器(校表参数 0x6B).....	74
4.4.26.2 Tgain 校正寄存器(0x6C).....	74
4.4.26.3 Vrefgain 的补偿曲线系数 TCcoeffA, TCcoeffB, TCcoeffC(0x6D~0x6F).....	74
4.4.27 新增算法控制寄存器(0x70).....	74
4.4.28 新增算法控制寄存器 2 (0x73).....	75
4.4.29 新增增加的模拟控制寄存器 3 (0x74).....	76
4.4.30 新增增加的算法控制寄存器 4 (0x75).....	77
4.4.31 相位校正——移采样点 (0x76/77)	77
5. 电气规格.....	79
5.1 电气参数.....	79
6. 校表过程.....	81
校表及推荐.....	82
7. 芯片信息.....	84

7.1 芯片封装.....	84
8. 典型应用.....	85
8.1 从采样数据得到 FFT 的推荐流程.....	85
8.2 同步缓冲数据分次谐波分析推荐流程.....	85

1. 芯片概况

1.1 芯片简介

HT7136 系列多功能高精度三相电能专用计量芯片，适用于三相三线和三相四线应用。HT7136 集成了多路二阶 sigma-delta ADC、参考电压电路以及所有功率、能量、有效值、功率因数及频率测量的数字信号处理等电路，能够测量各相以及合相的有功功率、无功功率、视在功率、有功能量及无功能量，同时还能测量各相电流、电压有效值、功率因数、相角、频率等参数，充分满足三相复费率多功能电能表的需求。详细数据定义请参阅参数寄存器部分。

HT7136 支持全数字域的增益、相位校正，即纯软件校表。有功、无功电能脉冲输出 CF1、CF2 提供瞬时有功、无功功率信息，可直接接到标准表，进行误差校正。

HT7136 提供两类视在功率、能量计量方式：RMS 视在方式和 PQS 视在方式；HT7136 通过 CF3 输出视在能量脉冲，可接到标准表进行视在能量误差校正。

HT7136/提供基波参数计量：基波有功功率、基波有功电能、基波电流、电压有效值；HT7136 通过脉冲输出 CF4 提供瞬时基波有功功率信息，可直接用于基波的校正。

HT7136 通过设置相关寄存器后，可以提供：基波无功功率、基波无功电能，通过脉冲输出 CF2 提供瞬时基波无功功率信息，可直接用于基波无功的校正。

HT7136 提供一个 SPI 接口，方便与外部 MCU 之间进行计量及校表参数的传递，SPI 接口的具体规格参见 SPI 详细说明部分，所有计量参数及校表参数均可通过 SPI 接口读出。

HT7136 内置电压监测电路可以保证上电和断电时正常工作。

1.2 芯片特性

- 高精度，在输入动态工作范围（5000: 1）内，非线性测量误差小于 0.1%
- 有功测量满足 0.2S、0.5S，满足 IEC 新定义 0.1S 级规格，支持 IEC62053-22: 2003, GB/T17215.322-2008
- 无功测量满足 0.5S、1 级、2 级，支持 IEC62053-23: 2003, GB/T17215.323-2008
- HT7136 提供 7 路 ADC，三路电压/三路电流+第 7 路 adc（一般用于零线电流）
- 支持 IaIc/UaUc 通道可互换
- 20 bit sigma-delta ADC
- BOR, LBOR 功能
- 基波、谐波功能：同时提供基波/谐波有功功率/能量/电压电流有效值；支持谐波电能表，并针对谐波功率偏小增加 1 套 EC 常数设置
- 提供断相指示、相序关系
- 支持 sleep 模式，保存校表参数，唤醒后重新计算校表参数校验和

- 提供 5 路可配置的 CF 脉冲输出（有功/无功/视在/基波/谐波可选）
- 增加正反向电能计量，支持 IEC62052/62053 新标准
- 支持 IEC61000-4-30 电网质量分析
 - SAG/SWELL 的全功能
 - 谐波、间谐波
 - 电压不平衡
- 支持 IEEE1459 的视在、功率因数计算
- 支持冀北电科院的动态负荷、双向功率
- 优化支持 CT 二次侧异常检测应用方案
- 针对 IR46 中关于尖顶波、方波误差测量
- 支持校表数据的 CRC 校验
- 提供 RMS、PQS 两种视在功率、能量计量（可选）
- 提供功率因数、相位角、线频率、电压夹角参数
- 提供电压有效值、电流有效值，在 500:1 动态范围，有效值精度优于 0.1%
- 提供三相电压矢量和、电流矢量和的有效值输出
- 提供断相指示、电压/电流相序检测功能
- 中断支持：过零中断，采样中断，电能脉冲中断，校表中断，兼容 SIG 信号
- 提供有功、无功反向指示功能
- 合相能量绝对值相加与代数相加可选
- 电表常数可调
- 潜动起动方式提供功率和电流可选，且可调
- 可准确测量到含 41 次谐波的有功、无功和视在功率、电能
- 支持增益及相位补偿，小电流非线性补偿
- SPI 通信接口，速率可达 10Mbps
- 内置温度测量传感器 TPS，精度优于 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ ，且实时更新；
- 适用三相三线和三相四线模式，支持三相三线、三相四线自适应
- 提供片上 Vref 温漂 $< \pm 10\text{ppm}/^{\circ}\text{C}$ ；支持外灌 Vref
- 提供电能质量电压 SAG 和电流过流检测功能
- 支持全失压方案（只提供电流有效值，功耗 typ 2.7mA；比较器模式 200uA）
- 提供同步采样数据，便于分次谐波分析，无需进行预处理
- 提供 1k*16bit ADC 数据缓存 buffer
- 提供脉冲加倍功能，便于小信号校表
- 支持 ROSI 线圈

- 增强 HBM/MM/CDM ESD 性能，符合国网元器件标准
- 封装：LQFP48
- 3.3V 供电
- 晶体 5.5296MHz

1.3 整体框图

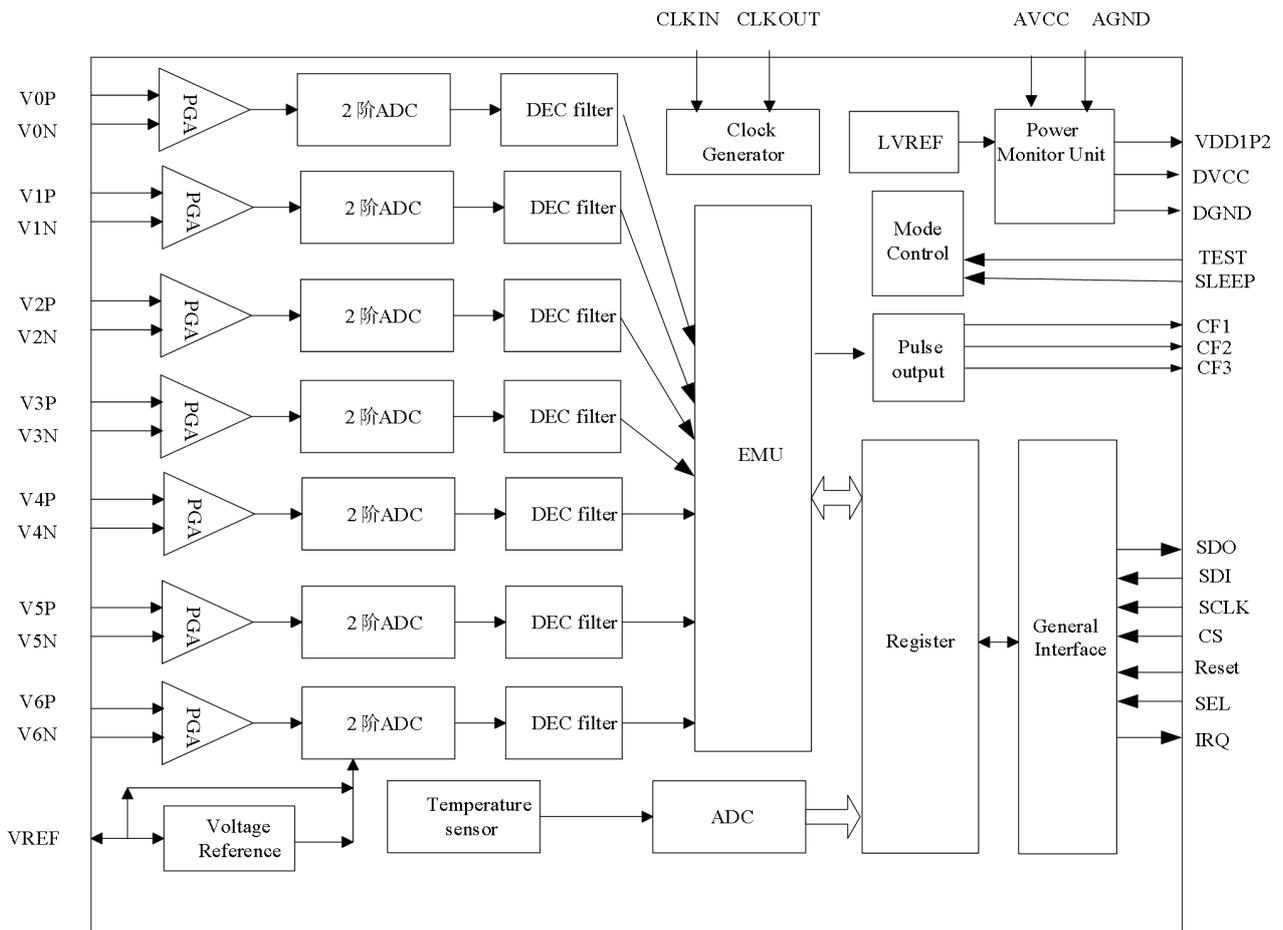


图 1-3-1 HT7136 芯片整体框图

1.4 引脚定义

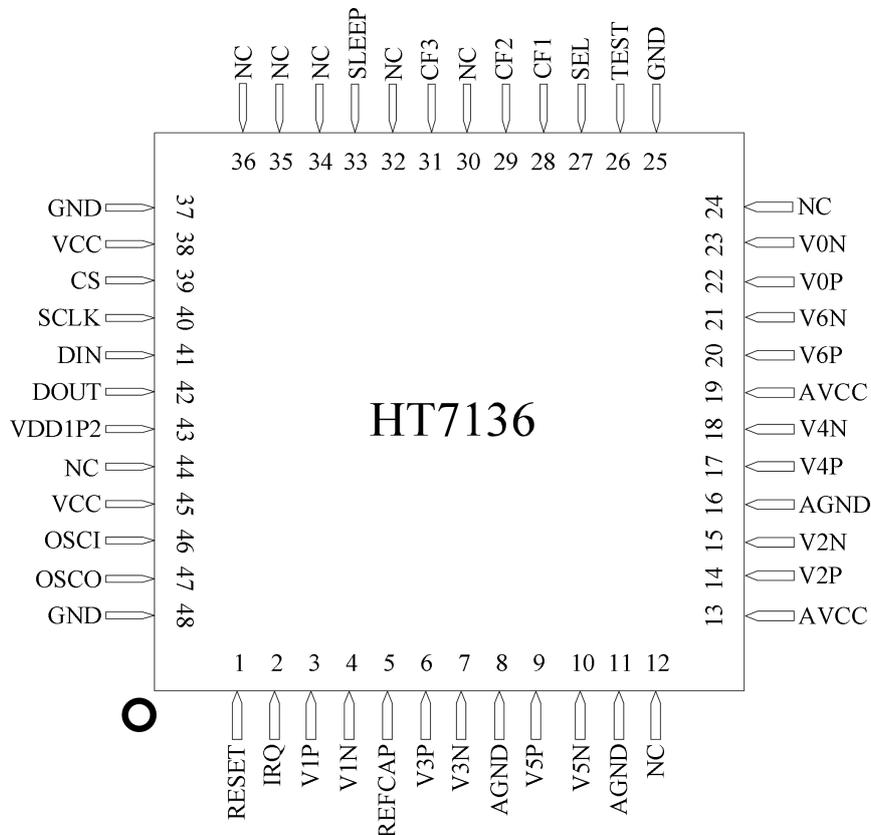


图 1-4-1 芯片引脚定义图

引脚编号	PIN 名字	特性	功能描述
1	Reset	输入	外接复位，低电平有效，Schmitt Trigger 类型；内部 47K 上拉电阻。
2	IRQ	输出	上电复位之后，IRQ 信号变低，写入校表参数后变高；内部 IRQ 功能项使能后，当发生该事件 IRQ 信号输出低电平，读完中断标志寄存器后，该引脚变高。
3,4	V1P/V1N	输入	通道 1（A 相电流通）正，负模拟输入引脚。完全差动输入方式，正常工作最大信号电平为 $\pm 0.7V_{pp}$ ，通道 1 有一个 PGA，其增益选择参见寄存器部分，两个引脚内部都有 ESD 保护电路。
5	REFCAP	输出	基准 1.2V，可以外接；该引脚应使用 $10\mu F$ 电容并联 $0.1\mu F$ 瓷介质电容进行去耦。
6,7	V3P/V3N	输入	通道 3（B 相电流通）正，负模拟输入引脚。完全差动输入方式，正常工作最大信号电平为 $\pm 0.7V_{pp}$ ，通道 3 有一个 PGA，其增益选择参见寄存器部分，两个引脚内

			部都有 ESD 保护电路。
8,11,16	AGND	参考地	模拟电路（即 ADC 和基准源）的接地参考点，该引脚应连接到 PCB 的模拟地。
9,10	V5P/V5N	输入	通道 5（C 相电流通道）正，负模拟输入引脚。完全差动输入方式，正常工作最大信号电平为 $\pm 0.7V_{pp}$ ，通道 5 有一个 PGA，其增益选择参见寄存器部分，两个引脚内部都有 ESD 保护电路。
12,24,30,32,34 35,36,44	NC	——	不连接。
13,19	AVCC	电源	该引脚提供模拟电路的电源，正常工作电源电压应保持在 $3.3V \pm 10\%$ ，为使电源的纹波和噪声减小至最低程度，该引脚应使用 $10\mu F$ 电容并联 $0.1\mu F$ 瓷介电容进行去耦。
14,15	V2P/V2N	输入	通道 2（A 相电压通道）的正、负模拟输入引脚。完全差动输入方式，正常工作最大输入电压为 $\pm 0.7V_{pp}$ ，两个引脚内部都有 ESD 保护电路。
17,18	V4P/V4N	输入	通道 4（B 相电压通道）的正、负模拟输入引脚。完全差动输入方式，正常工作最大输入电压为 $\pm 0.7V_{pp}$ ，两个引脚内部都有 ESD 保护电路。
20,21	V6P/V6N	输入	通道 6（C 相电压通道）的正、负模拟输入引脚。完全差动输入方式，正常工作最大输入电压为 $\pm 0.7V_{pp}$ ，两个引脚内部都有 ESD 保护电路。
22,23	V0P/V0N	输入	通道 0（电压/电流通道）的正、负模拟输入引脚。完全差动输入方式，正常工作最大输入电压为 $\pm 0.7V_{pp}$ ，两个引脚内部都有 ESD 保护电路。
25,37,48	GND	参考地	数字地引脚
26	TEST	输入	测试管脚，应用时请务必接地。
27	SEL	输入	三相三线低电平，三相四线高电平选择，Schmitt Trigger 类型；内部可编程为 $300k$ 上拉电阻或 floating。
28	CF1	输出	频率校验输出(高电平脉冲)，用于有功功率的校验；也可以用来做有功电能计量。
29	CF2	输出	频率校验输出(高电平脉冲)，用于无功功率的校验；也可以用来做无功电能计量。
31	CF3	输出	频率校验输出(高电平脉冲)，用于视在功率的校验；也可以用来做视在电能计量。
33	SLEEP	输入	休眠模式控制引脚，高有效，即拉高进入休眠模式，功耗为 $2\mu A$ ，拉低芯片正常工作。
38,45	VCC	电源	数字电源引脚；正常工作电源电压应保持在 $3.3V \pm 10\%$ ，该引脚应使用 $10\mu F$ 电容并联 $100nF$ 瓷介电容进行去耦。
39	CS	输入	选择信号，它是 SPI 接口的一部分；由 Host MCU 产生，低有效，若 CS 为高，则 DOUT 为高阻态，Schmitt Trigger 类型。内部可编程为 $300k$ 上拉电阻或 floating。

40	SCLK	输入	为同步串行接口配置的串行时钟，由 Host MCU 产生，该管脚为 Schmitt Trigger 类型，可以方便接收由光耦传送过来的信号。内部可编程为 300k 上拉电阻或 floating。
41	DIN	输入	串行接口的数据输入；来自 Host MCU；SCLK 下降沿是有效数据，Schmitt Trigger 类型。内部可编程为 300k 上拉电阻或 floating。
42	DOUT	输出	串行接口的数据输出；SCLK 上升沿放出数据；下降沿是有效数据。
43	VDD1P2	电源	数字电源 1.2V 输出。外接 10 μ F 钽电容并联 100nF 瓷介质电容进行去耦。
46	OSCI	输入	系统晶振的输入端，或是外灌的系统时钟输入。（推荐为 5.5296MHz），内部已集成起振电路 10M 电阻。
47	OSCO	输出	晶振的输出端。

2. 功能描述

2.1 Sleep/全失压模式

2.1.1 工作模式

HT7136 支持 3 种工作模式：Normal，全失压及 Sleep 模式，其中 normal 模式兼容旧版 ATT7022EU，用户通过 SPI 进行配置，以实现不同情况下的计量，如：全速运行全功能计量，只开 3 路电流 ADC 实现全失压工况下的电流有效值计量等。

通过外部 Sleep Pin 拉高进入全失压或 Sleep 模式。全失压 Comp mode 下芯片进入比较器工作模式；Sleep 模式下，chip 处于休眠状态。

应用方式说明：

(1) Normal：用户将 EMU 时钟配置为 921.6kHz，开启六路 ADC 工作在 921.6kHz，实现 EMU 的正常计量，其他的所有 EMU 功能用户可以选择开关。

(2) Sleep：chip 处于休眠状态，SPI 处于工作状态，只保存部分校表参数，支持唤醒复位，但复位需要分级，唤醒时不改写校表参数，同时需要重新计算校表参数校验和。Sleep 下对功耗要求小于 2uA。

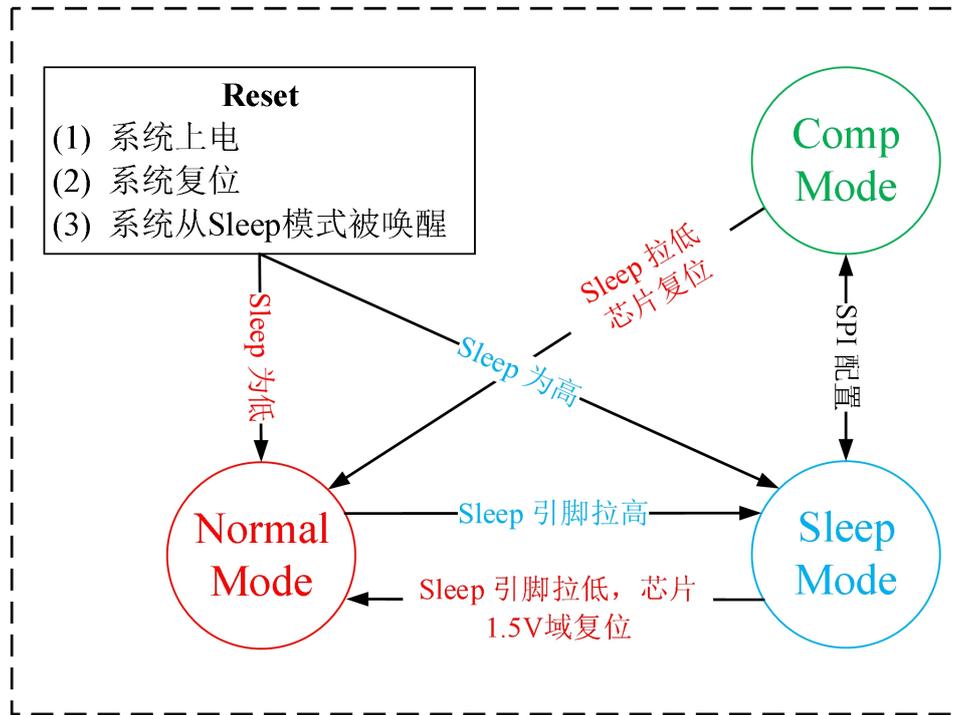
(3) 全失压 Comp mode：chip 处于比较器工作模式，用于判断电流是否大于 5%Ib，即全失压工况。功耗 < 200uA。

2.1.2 应用模式功能列表

模式	ADC	EMU	Vref	SPI	TPS	OSC	BOR	Lvref	Lost_u	RC	PMU (POR/LBOR)
Normal	Y/N	Y/N	Y	Y	Y	Y	Y/N	Y/N	N	N	Y
Sleep	N	N	N	Y	N	N	N	N	N	N	Y
Comp mode	N	N	N	Y	N	N	N	Y	Y	Y	Y

注：上表列出的是芯片在各个模式下每个模块的默认状态，用户还可以在各个模式下自行配制各种功能的开关。

2.1.3 模式转换图



2.1.4 Reset后芯片状态

Reset 后芯片根据 Sleep 引脚状态进入 normal 模式还是 sleep 模式。

芯片在 reset 状态下（外部 Reset 拉低，内部 LBOR 复位，内部 BOR 复位），不提供 EMU CLK，7 路 ADC 关闭，ADC 的 Vref 关闭，关闭 TPS 模块。

芯片在 Normal 模式下，通过将 Sleep 引脚拉高可以使芯片进入 Sleep 模式；同时通过配置寄存器，切换芯片处于 sleep 或者全失压模式。

外部 Reset 引脚产生的 Reset 和内部复位寄存器产生的复位，内部 Reset 的释放时间为 200us。

2.2 芯片复位源

- 1、 POR/LBOR 复位
- 2、 外部 RST 拉低复位
- 3、 Test pin 从高变低，则发生复位
- 4、 SEL pin 发生翻转，则发生复位
- 5、 SoftRst 命令 复位
- 6、 Sleep 拉高后芯片进入休眠状态，拉低后芯片发生复位，但 3.3V 域校表参数不改变，同时需重新

计算校表参数校验和。

芯片发生任何上述复位/清校表参数命令，均应该使 SIG 信号输出低电平，同时置位标志寄存器 r_INTFlag 寄存器内部的 SIGbit。写入校表数据后，读取标志寄存器 r_INTFlag 后，SIG Pin 重新拉高。

2.2.1 复位优先级：

POR 最高，可复位芯片内部所有电路及寄存器。

LBOR/外部 RST/Test 翻转/Sel 翻转复位，可复位除 PorRst bit 外的所有电路及寄存器。

SoftRst 主要复位数字 EMU 部分及所有寄存器。

Sleep 复位除 3.3V 域校表参数外的电路及寄存器。

2.3 系统功耗列表

Normal	Comp mode	Sleep
4.7mA	200uA	2uA

注：用户在各个模式下自行开关非默认的各个模块导致增加的功耗不在上面要求范围内。

2.4 ADC 模块

2.4.1 特性

- 1.8M sigma-delta ADC->28K 20bit ADC
- 满量程 VF: $\pm 710\text{mv}$ 峰峰值
- 输入信号以 AGND 为中心
- ADC 的偏置电流可调，适应低功耗模式
- ADC 的频率可调，支持 1.8M/0.9M, 得到 28.8k/14.4k/7.2k ADC 数据
- 增益 *1 *2 *4*8*16（电压统一控制，电流三路统一控制，第 7 路 ADC 单独控制）

2.4.2 参数

参数名称	Min	Type	Max	参数单位
满量程		710		mV
ADC 频率		0.9216	1.832	MHz
采样率		14.4	28.8	KHz
输入阻抗	100	500		k Ω

SINAD(信纳比)		75		
THD(总谐波失真)		-92		
CrossTalk		-95		
DC PSRR(直流电源抑制比)		0.05%		
AC PSRR(交流电源抑制比)		0.1%		
ADC Offset		5	10	mV

注：SINAD 参数测试以 14K 带宽来计算
DC PSRR 以芯片电源变化 3.3V±10%来计算

2.5 基准电压 VREF

2.5.1 参数

参数名称	Min	Type	Max	参数单位
中心值		1.2		V
温度系数		5	10	PPM

注：VREF 支持外灌；VREF 具有 chop 功能，保证芯片一致性。

2.6 POR&LBOR

2.6.1 LBOR参数

LBOR 主要用于当系统电压小于 2V 的时候，BOR 模块不能工作，由 LBOR 来接管系统，将芯片整体复位住，2V 以下的系统电压都是由 LBOR 来复位系统。

参数名称	Min	Type	Max	参数单位
Detect voltage (failing)	1.705	2.005	2.305	V
Release voltage (Rising)	1.803	2.103	2.403	V

2.7 硬件端口检测

HT7136 可以自动检测硬件端口，当硬件端口改变时，系统将自动复位重新起动的，芯片外部端口输入主要有 SEL，用于选择芯片工作在三相三线还是三相四线模式；此外还有 Sleep、Test。

2.8 片上温度检测

HT7136 内建温度传感器 TPS，并提供一个 8 位的 ADC 对温度进行采样输出，分辨率为 0.726°C。

TPS 主要性能指标如下：

1. 能够测量出 IC 的温度，更新速率 >10Hz；
2. 在-40°C~85°C的范围内，测量误差为±1°C。

2.9 有效值测量

2.9.1 电流有效值测量

通过对电流采样值进行平方、开方以及数字滤波等一系列运算得到。

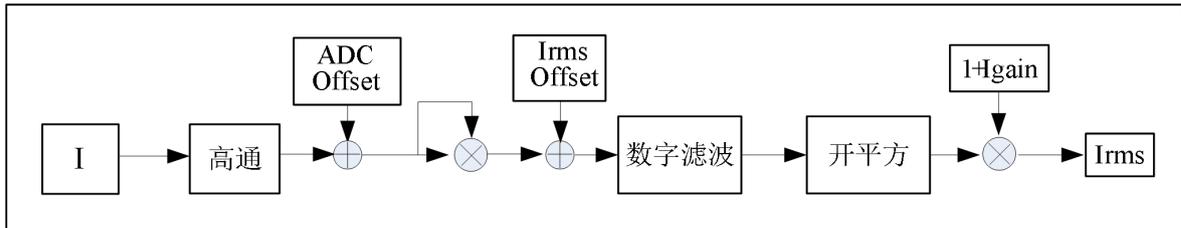


图 2-9-1 电流有效值计算

2.9.2 电压有效值测量

通过对电压采样值进行平方、开方以及数字滤波等一系列运算得到。

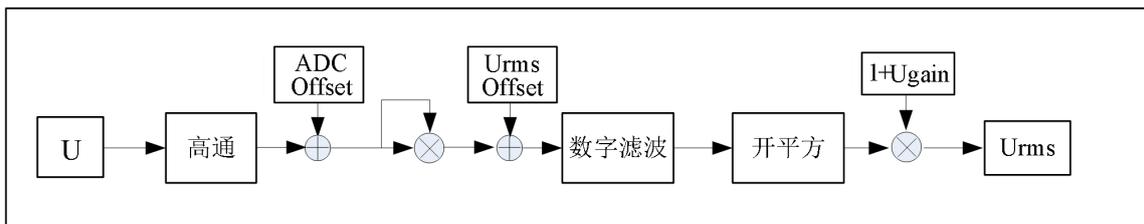


图 2-9-2 电压有效值测量

2.9.3 线电压测量

$$U_{ab} = \sqrt{U_a^2 + U_b^2 - 2 * U_a * U_b * \cos(\varphi_{ab})}$$

$$U_{bc} = \sqrt{U_b^2 + U_c^2 - 2 * U_b * U_c * \cos(\varphi_{bc})}$$

$$U_{ac} = \sqrt{U_a^2 + U_c^2 - 2 * U_a * U_c * \cos(\varphi_{ac})}$$

2.10 有功计算

$$P = U * I * \cos(\varphi)$$

2.10.1 有功功率计算

各相的有功功率是通过对去直流分量后的电流、电压信号进行乘法、加法、数字滤波等一系列数字信号处理后得到的。电压、电流采样数据中包含高达 41 次的谐波信息，所以依据公式 $P = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^N (U(n) \times I(n))$ 计算得到的有功功率也至少包含 41 次谐波信息。有功功率的测量原理图如下图所示，合相有功功率

$P_t = P_a + P_b + P_c$ 。

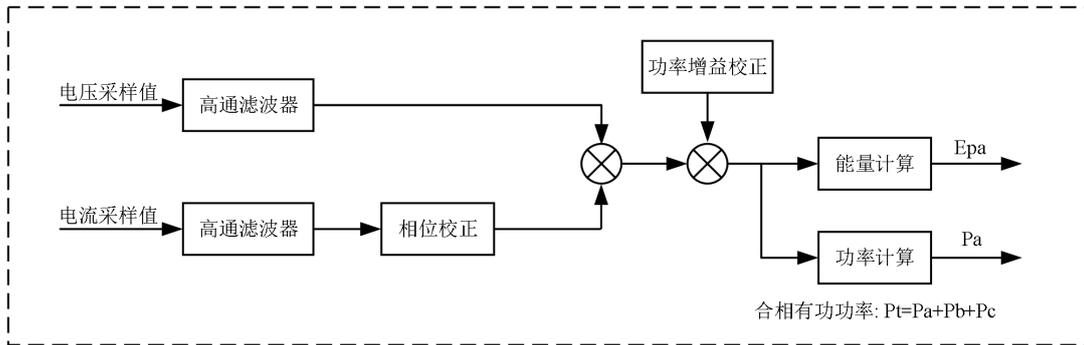


图 2-10-1 有功功率测量

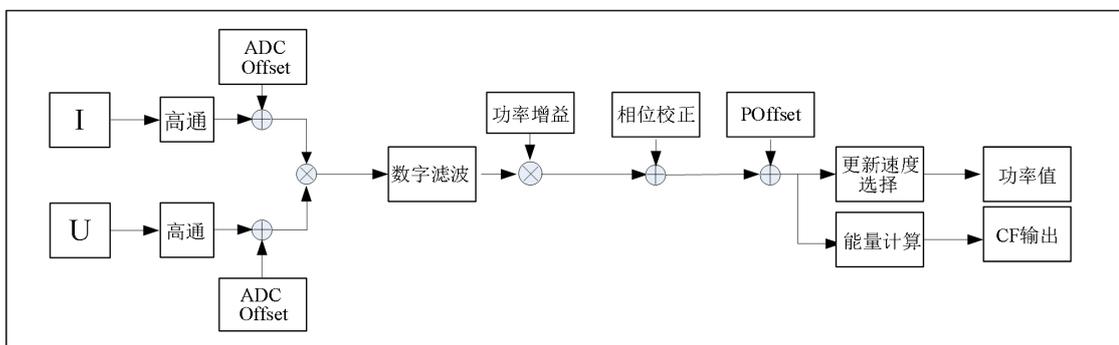


图 2-10-2 有功功率及能量计算

2.10.2 有功能量计算

有功能量通过瞬时有功功率对时间的积分得到。单相有功能量的计算公式为： $E_p = \int p(t)dt$ 。合相有功能量可以根据设置按照代数或者绝对值的模式进行累加。代数和模式 $E_{pt} = E_{pa} + E_{pb} + E_{pc}$ ，而绝对值加模式 $E_{pt} = |E_{pa}| + |E_{pb}| + |E_{pc}|$ 。如图所示。

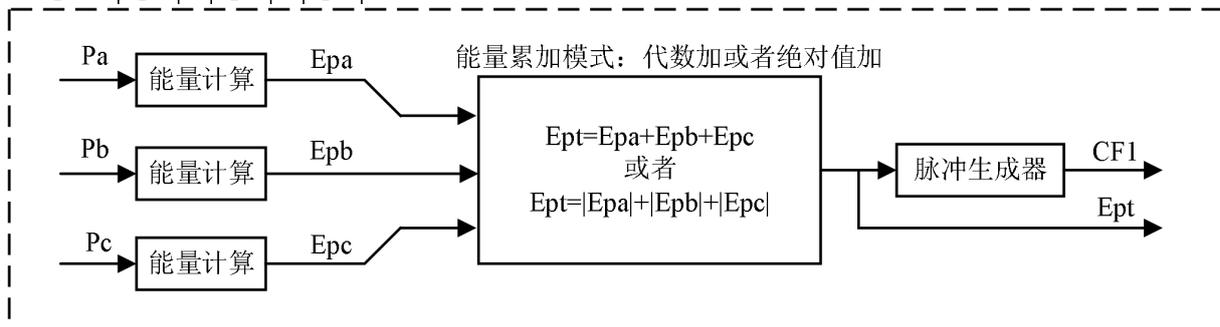


图 2-10-3 有功能量测量

2.11 无功计算

$$Q = U * I * \sin(\varphi)$$

2.11.1 无功功率计算

无功功率 $Q = \sum_{n=1}^{\infty} (U_n \cdot I_n \cdot \sin(\varphi))$ ，无功功率计量算法与有功类似，只是电压信号采用移相 90 度之后的，移相方式采用 Hilbert 滤波器。测量带宽主要受到数字移相滤波器的带宽限制，无功功率的测量带宽也可高达 41 次谐波。

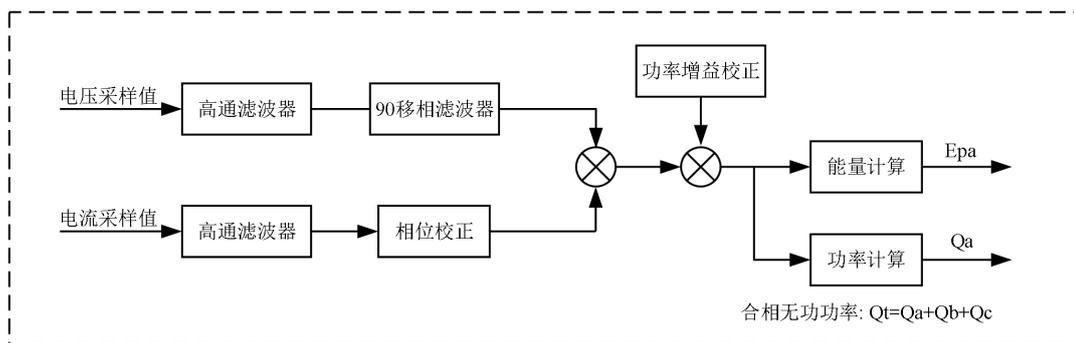


图 2-11-1 无功功率测量

2.11.2 无功能量计算

无功能量通过瞬时无功功率对时间的积分得到。单相无功能量的计算公式为： $E_q = \int q(t)dt$ 。合相无功能量可以根据设置按照代数或者绝对值的模式进行累加。代数和模式 $E_{qt} = E_{qa} + E_{qb} + E_{qc}$ ，而绝对值加模式 $E_{qt} = |E_{qa}| + |E_{qb}| + |E_{qc}|$ ，如图所示。

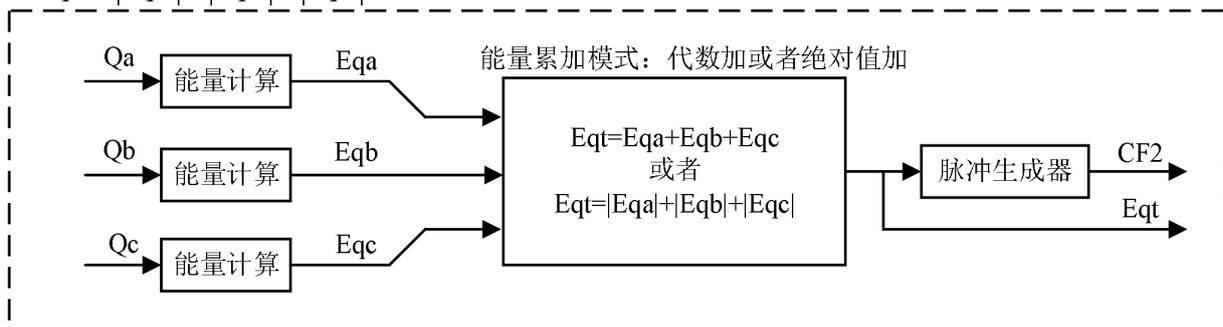


图 2-11-2 无功能量测量

2.12 视在计算

2.12.1 视在功率计算

视在功率有两类计算公式：

PQS 视在功率（公式一）： $S = \sqrt{P^2 + Q^2}$

RMS 视在功率（公式二）： $S = U_{rms} * I_{rms}$

HT7136 提供 2 类计算方式，用户可通过寄存器配置选择使用任意一种计算公式。

其中采用 PQS 视在功率（公式一）实现的视在功率值。如下图所示。

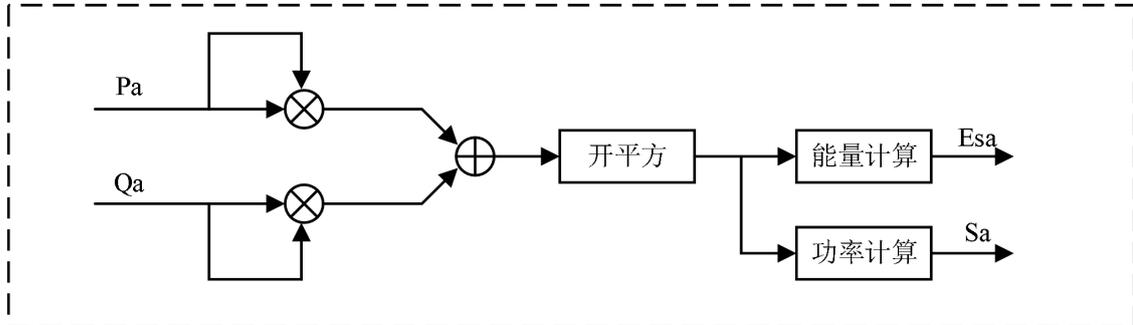


图 2-12-1 视在能量测量

关于合相视在功率，按照公式一，根据合相有功功率和合相无功功率计算得到，如下图所示。

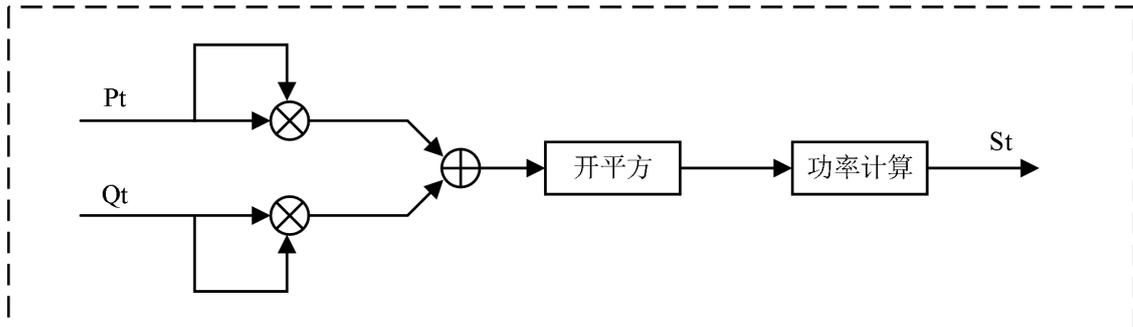


图 2-12-2 合相视在功率测量

根据 RMS 视在功率公式二实现的视在功率值，如下图所示。

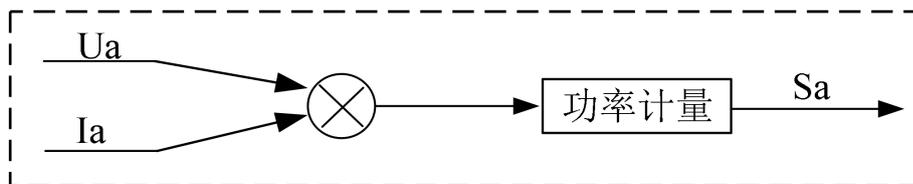


图 2-12-3 视在功率测量

2.12.2 视在能量计算

视在能量定义视在功率对时间的积分，由于视在功率存在两类计算公式，所以 ATT7022E/26E 提供这两类的视在能量，通过寄存器控制位选择。

按照公式 $S_T = \sqrt{P_T^2 + Q_T^2}$ 计算 PQS 视在能量，如下图所示。

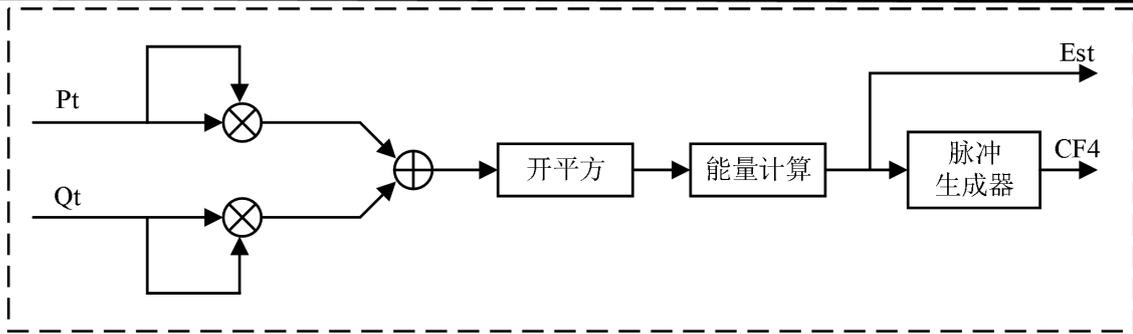


图 2-12-4 合相视在能量测量

按照公式 $S_T = U_{ra} * I_{ra} + U_{rb} * I_{rb} + U_{rc} * I_{rc}$ 计算 RMS 视在能量，如下图所示。

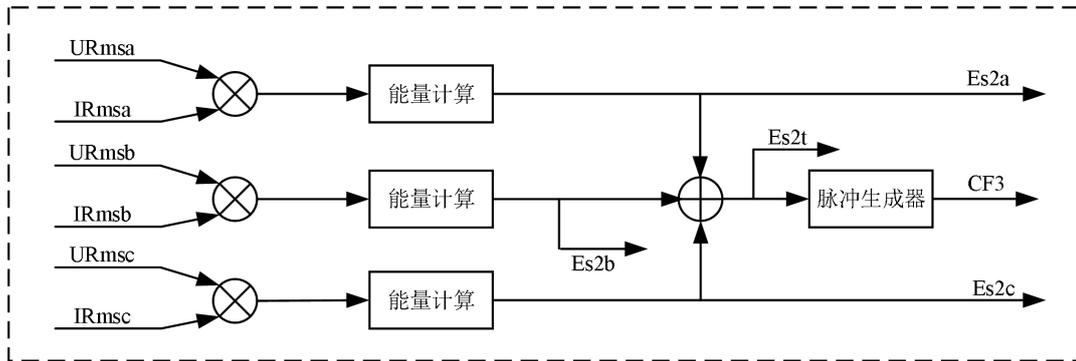


图 2-12-5 视在能量测量

2.13 三相三线/四线应用

HT7136 三相四线模式下采用三元件测量方法，合相功率计算公式为：

$$P_4 = \dot{U}_A \dot{I}_A + \dot{U}_B \dot{I}_B + \dot{U}_C \dot{I}_C$$

$$Q_4 = \dot{U}_A \dot{I}_A \angle 90^\circ + \dot{U}_B \dot{I}_B \angle 90^\circ + \dot{U}_C \dot{I}_C \angle 90^\circ$$

$$S_4 = \sqrt{P_4^2 + Q_4^2}$$

而三相三线模式下采用两元件测量方法，合相功率计算公式为：

$$P_3 = \dot{U}_{AB} \dot{I}_A \dot{U}_{BC} \dot{I}_C$$

$$Q_3 = \dot{U}_{AB} \dot{I}_A \angle 90^\circ + \dot{U}_{BC} \dot{I}_C \angle 90^\circ$$

$$S_3 = \sqrt{P_3^2 + Q_3^2}$$

在三相三线模式下 HT7136 的 B 相通道不参加功率计量，只有 A 相和 C 相通道参与三相三线的测量。但是可以将 B 通道的参数单独放出，只要在 B 相通道的电压与电流通道上加入相应信号，在三相三线模式下仍可读取 Pb/Qb/Sb/Urmsb/Irmsb/Pfb/Pgb 参数，但是 B 通道的电压和电流通道上所加的信号不会对三相三线的正常测量产生不良影响。

另外三相三线模式下.Urmsb 寄存器可选择 B 通道输入信号，也可选择通过内部矢量方式直接计算 Uac

有效值。

HT7136 三相三线制/三相四线制选择由 Sel pin 及寄存器控制，具体为：在外部引脚 SEL=1 时，通过寄存器 ModSel 控制位进行选择，ModSel =0 为三相四线制，ModSel =1 为三相三线制；在外部引脚 SEL=0 时，固定为三相三线制。

2.14 ADC 采样数据缓冲功能

HT7136 内部具有 1K*16bit 的缓冲 buffer，用于存放 ADC 采样数据，供用户做进一步的分析。用户发送命令（0xC0+0xCCCX）后，在每一个采样周期将相应 ADC 数据(高 16bit 补码形式)保存到缓冲中，写指针自动加 1，直到缓存满为止（写指针=0x1000），只要不发送新的命令，缓存的数据会一直保持上一次的数据。

用户可以随时读取缓存的内容，同时可通过 C1 命令改变内部读指针（PtrRDbuffer），便于用户任意指定要读取的缓冲起始地址，每读一次缓冲(0x7F 命令)后，该地址自动加一，大于缓存长度后，归 0。重新启动缓冲命令后，读指针自动归 0，不管之前用户读取缓冲数据到哪个地址，即读指针可由启动命令归 0，或者由用户通过写 C1 命令改变。

读取有效数据的方法：用户可以等待相应采样间隔时间以后，去读缓存的内容，也可以通过 0x7E 命令读取缓存写指针，读取地址小于写指针(PtrWRBuffer)低字节的内容。

SPI 读取到的数据格式：高 8bit 为 0，低 2byte 为 16bit 的 ADC 数据。多通道时的数据为实际的存储顺序，以 UA UB UC 为例，在缓存中的数据依次为 UA0 UB0 UC0 UA1 UB1 UC1 ...UA340 UB340 UC340 UA341。

缓冲 buffer 存放 ADC 采样数据的采样频率可选，数据来源可选。

2.14.1 相关寄存器

40	w_WaveCommand	2	0x0000	波形数据缓冲起动命令（0xC0 命令）通道选择命令：CCC0~CCCB 分别对应选择缓冲方式：单通道 Ua/Ia/Ub/Ib/Uc/Ic/In/ 双通道 Ua+Ia/Ub+Ib/Uc+Ic/ 三通道 Ua+Ub+Uc/Ia+Ib+Ic
41	w_WaveAdd	2	0x0000	指定缓冲数据起始读取点（C1 命令）
参数寄存器				
7E	r_PtrWavebuff	3		缓冲数据指针，指示内部缓冲 buffer 已有数据长度
7F	r_WaveBuff	3		缓冲数据寄存器，内部自增益，重复读取直至读完缓冲数据长度

2.15 同步采样数据缓冲功能

为便于用户实现分次谐波功能，HT7136 外提供同步采样数据缓冲功能，同时将 7 路 ADC/3 路电压/3 路电流的同步采样存储在 1K*16bit 的缓冲存储器中。HT7136 根据外部输入信号频率调整采样率，实现在 EMU 时钟为 921.6kHz 下，每周期固定 64 点数据。用户发送命令 (0xC5+0x0002) 启动自动同步采样功能，HT7136 根据内部计量的频率信息自动调整采样率后开始将同步采样数据保存到缓存中，直到存满为止，只要不重新发送新的缓冲存储命令，缓存的数据会一直保持上一次的数据。SourceSel1..0: 选择数据存储方式；用户可以通过特殊命令 C5=0 存 7 路同步采样数据；=1 存 3 路电压同步采样数据 =2 存 3 路电流同步采样数据同样的用户也可以使用手动方式 (0xC5+0x03)，自己根据 HT7136 计量的频率值计算同步数据系数写入到 0xC4 中，调整缓冲数据采样率，再启动同步采样缓冲功能。

同步采样数据存储到缓冲区后，用户可以随时读取缓存的内容。通过 C1 命令改变 gWaveAddress，用户可以任意指定要读的缓存的起始地址；每读一次缓存后，该地址会自加一，大于缓存长度后，会变为 0。

读有效数据的方法：用户可以等待相应采样间隔以上的时间内，去读取缓存的内容。或者，读取地址小于 ptrWaveFormRd 的内容。(ptrWaveFormRd 为 HT7136 内部保存数据时的指针，对应于 7E 的内容。

SPI 读取到的数据格式：高 8bit 为 0，低 2byte 为 16bit 的 ADC 数据(补码形式)。若选择 7 路 ADC 数据，每路 585 个数据，存储顺序依次为 Ua、Ub、Uc、Ia、Ib、Ic、In；若选择 3 路电压 ADC，每路存 1365 个数据，存储顺序依次为 Ua、Ub、Uc；若选择 3 路电流 ADC，每路存 1365 个数据，存储顺序依次为 Ia、Ib、Ic。

2.16 电能质量管理

2.16.1 SAG/PEAK/INT功能

PEAK 事件的定义：过零数据来源低通滤波器后的数据，峰值数据来源于高通后

以半周波为单位，每半周波进行一次判别，当电压波形采样值第一个半周波的绝对值峰值大于 PEAKLVL(校表参数 0x3A) 设定的 PEAK 阈值，记为事件判断开始，只要电压波形峰值的绝对值不小于设定的阈值(PEAKLVL- hysteresis)，则一直处于 PEAK 状态，当计数值等于 UCyc (校表参数 0x38) 设定的半周波数，则判定发生 PEAK 事件，给出峰值最大值 PeakUx (0x50~0x52)，并给出标志位 SAGFlag(0x4F) 中的 UxOV，及 INTFlag (0x1B) 中的 PEAKIF 与 UStar 标志位，之后每个半周波继续判别，每 UCyc 个半周波更新标志位 PEAKIF 及峰值寄存器 PeakUa (0x50~0x52)。当电压波形峰值的绝对值小于设定的迟滞阈值 (PEAKLVL- hysteresis)，则停止当前计数，并给出 Uend 标志位。PEAK 状态下计数寄存器 UxdetCNT(0x74~0x76) 每半波更新一次，最值寄存器 UaDetV (0x77~0x79) 在电压回到正常时刻更新；UStar/Uend/PeakIF 标志读后清零。

SAG 事件的定义：过零数据来源移相低通滤波器后的数据，峰值数据来源于高通后

以半周波为单位，每半周波进行一次判别，当电压波形采样值第一个半周波的绝对值峰值小于 SAGLVL(校表参数 0x39) 设定的 SAG 阈值且大于 INTLvl(电压中断阈值 0x3B)，记为事件判断开始，只要

电压波形峰值的绝对值不大于设定的阈值(SAGLVL+hysteresis)或者小于 INTLvl(电压中断阈值 0x3B), 则一直处于 SAG 状态, 当计数值等于 UCyc (校表参数 0x38) 设定的半周波数, 则判定发生 SAG 事件, 给出峰值最小值 PeakUx (0x50~0x52), 并给出标志位 SAGFlag(0x4F)中的 UxSAG, 及 INTFlag (0x1B)中的 SAGIF 与 UStar 标志位, 之后每个半周波继续判别, 每 UCyc 个半周波更新一次 SAGIF 标志位及峰值寄存器 PeakUa (0x50~0x52)。当电压波形峰值的绝对值大于设定的迟滞阈值(SAGLVL+ hysteresis)或者小于 INTLvl(电压中断阈值 0x3B), 则停止当前计数, 并给出 Uend 标志位, SAG 状态下计数寄存器 UxdetCNT(0x74~0x76)每半波更新一次, 最值寄存器 UaDetV (0x77~0x79)在电压回到正常时刻更新, UStar/Uend/SAGIF 标志读后清零。

INT 电压中断事件的定义:

以半周波为单位, 每半周波进行一次判别, 当电压波形采样值第一个半周波的绝对值峰值小于 INTLvl(电压中断阈值 0x3B), 记为事件判断开始, 只要电压波形峰值的绝对值不大于设定的阈值 (INTLvl+hysteresis), 则一直处于 INT 状态, 当计数值等于 UCyc (校表参数 0x38) 设定的半周波数, 则判定发生 INT 事件, 给出峰值最小值 PeakUx (0x50~0x52), 并给出标志位 SAGFlag(0x4F)中的 UxINT, 之后每个半周波继续判别, 每 UCyc 个半周波更新一次 INTIF 标志位及峰值寄存器 PeakUa (0x50~0x52)。当电压波形峰值的绝对值大于设定的迟滞阈值 (INTLvl + hysteresis), INT 状态下计数寄存器 UxdetCNT(0x74~0x76)每半波更新一次, 最值寄存器 UaDetV (0x77~0x79)在电压回到正常时刻更新, UStar/Uend/SAGIF 标志读后清零。

半周波数保护机制:

当电压/电流突变变为 0 时, 由于高通滤波器响应延迟, 导致过零丢失, 因此当 2 次过零之间的采样点数大于 350, 则认为一次半周波事件, 给出过零丢失标志位。后续持续以 350 点为过零事件。当电压有效值 <0xA300, 则不进行过零事件判断。

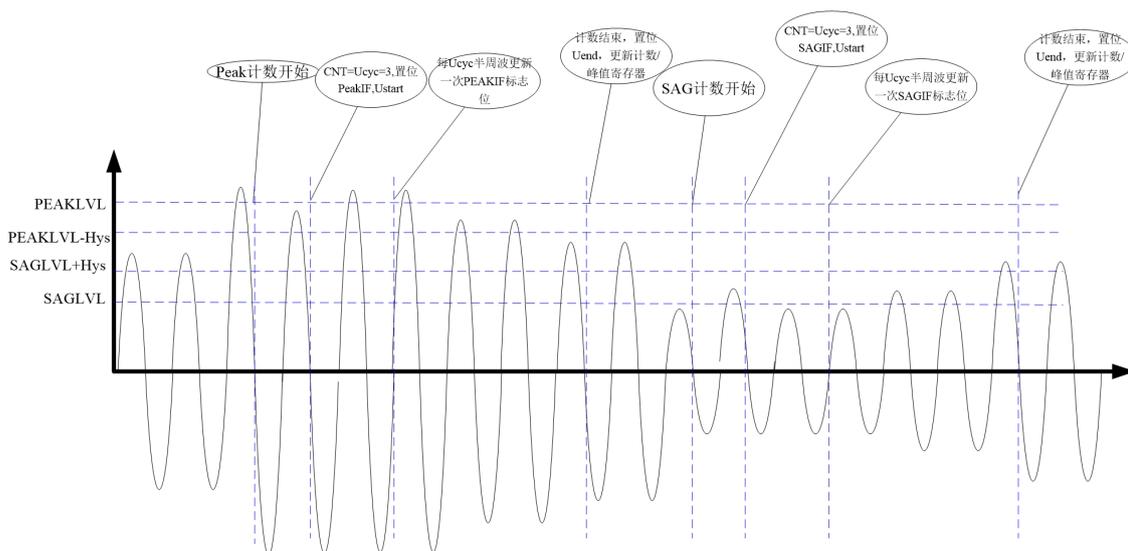


图 2-16-1 电压事件示意图

2.16.2 过流检测功能定义

以电压半周波为单位，每半周波进行一次判别，当电流波形采样值的绝对值峰值大于 OVILvl (校表参数 0x71) 设定的过流阈值，记为事件判断开始，当持续半周期数等于 UCyc (校表参数 0x38) 设定的半周波数，则判定发生过流事件，并给出标志位 OVIIF。

某相电流过流将导致 SAGFlag(0x4F) 寄存器中该相 OVIx (x=A, B, C) 寄存器位置 1，同时中断标志 INTFlag 寄存器(0x1B)中的 OVIIF 寄存器位置 1。若 EMU 中断配置寄存器 EMUIE(0x30)中的 OVIIE=1, OVIIF 置 1 会导致 IRQ 中断。清 OVIIF 的同时会清该中断，同时清 SAGFlag 寄存器中 OVIx 标志。

2.16.3 角度算法

提供电压夹角 $U_a U_b / U_a U_c / U_b U_c$ 和相角 $U_a I_a / U_b I_b / U_c I_c$; $U_a U_b$ 相角为 U_a 过零与 U_b 过零之间的点数差，以此类推；

增加一种可选方式：根据采样信号 $U_a / U_b / U_c / I_a / I_b / I_c$ 中的某一信号为参考，例如以 U_a 通道为相角基准，则 Y_{Ib} 表示 I_b 和 U_a 间的相角。用户可通过简单运算得知任意两个向量的相角，如 I_a 和 I_b 的相角 $Y_{IaIb} = Y_{Ia} - Y_{Ib}$ 。其中 Y_{Ua} 复用 Y_{UaUb} 寄存器， Y_{Ub} 复用 Y_{UaUc} 寄存器， Y_{Uc} 复用 Y_{UbUc} 寄存器， Y_{Ia} 复用 Y_{UaIa} 寄存器， Y_{Ib} 复用 Y_{UbIb} 寄存器， Y_{Ic} 复用 Y_{UcIc} 寄存器。

采用哪种算法通过寄存器 Ymodsel 控制，当 Ymodsel = 0 选择旧算法，当 Ymodsel = 1 选择新算法。当选择新算法时通过寄存器 ChlSel[1..0]选择以哪路电压信号作为参考。

2.16.4 脉冲产生机制

HT7136 的 ADC 采样时钟方式，修改为 450kHz 方式，同时功率累加器扩 5bit，以兼容 ATT7022EU 的 HFconst 公式。新增控制位 CFmod: CF 脉冲生成方式选择，CFmod = 0 时选择原有 14.4kHz 方式；CFmod = 1 时选择 450kHz 方式；

2.16.5 功率方向判断

HT7136 实时提供功率方向指示，包含各相有功功率、无功功率及电能方向标志位，方便实现四象限功率计量。负功率指示 REVP: 当检测到三相中任意一相的有功功率为负，则 REVP 输出高电平，直到下次检测到所有的有功功率都为正时，REVP 才恢复为低电平。注意，当某一相功率处于潜动时，该相功率值的方向不影响 REVP 的状态；REVP 状态需要在芯片发出第一个脉冲之后才正常指示，否则 REVP 一直处于低电平。

2.16.6 起动/潜动

HT7136 提供 2 种方式实现能量计量的起动和潜动：一是电流阈值判断方式，即判断电流是否小于启动阈值来实现起动与潜动的判断，当检测到某相电流大于启动阈值时，该相能量就开始计量，也就是可以起

动，而当检测到某相电流小于起动阈值时，该相能量停止计量，也就是处于潜动状态。二是功率阈值判断方式，即判断有功功率和无功功率是否同时小于起动功率阈值实现起动与潜动，当检测到某相有功功率或无功功率大于起动功率阈值，该相能量就开始计量，即起动，当某相有功功率和无功功率同时小于起动功率阈值，该相能量停止计量，即潜动。

注：推荐使用功率阈值判断方式，设置值更准确。

2.16.7 基波/谐波测量功能

HT7136 提供基波/谐波有功电能测量功能，将电压和电流信号中的基波成分分离出来，直接提供精确的基波有功功率以及基波有功电能的计量。其中基波电压/电流有效值、基波有功功率分别放在不同的寄存器，便于用户同时取得基波和全波数据计算畸变率，基波有功能量脉冲通过 CF4 输出。

ATT7022EU 只有基波功能或者谐波功能，只提供一组基波谐波电压/电流有效值，基波谐波有功功率、基波谐波电能。HT7136 同时提供基波/谐波有效值、基波/谐波有功功率、有功电能，因此新增加一组寄存器；其中基波/谐波使能控制通过寄存器位 HAREn (0x03.bit10)使能。

实现方式：全波的功率波形数据、有效值波形数据，抽取后与基波速率一致，全波数据减基波的功率波形、有效值波形数据，作为数据源，后续计算谐波参数、正反向谐波电能。

全波：

$$\begin{aligned} P &= P1 + P2 + \dots \\ &= U1 * I1 * \cos(\varphi1) + U2 * I2 * \cos(\varphi2) + \dots \end{aligned}$$

基波：只与基频信号相关

$$\begin{aligned} P_f &= P1 \\ &= U1 * I1 * \cos(\varphi1) \end{aligned}$$

谐波：除直流与基频信号以外的信号

$$\begin{aligned} P_h &= P - P1 \\ &= U2 * I2 * \cos(\varphi2) + U3 * I3 * \cos(\varphi3) + \dots \end{aligned}$$

2.16.8 基波无功功能

增加基波无功功率寄存器，而基波无功电能与全波无功电能复用，使用控制位 QEnergySel；注意相位校正使用全波数据进行。

基波无功功能配置如下：

- (1) 在正常模式下（全波）将表校正好；
- (2) 基波无功模式寄存器配置：
 - a.校表寄存器 0x03Hbit10—HAREn = 1：使能基波/谐波功能；
 - b.校表寄存器 0x70Hbit4—QEnergySel = 1：配置为基波无功计量；（切换全波无功计量(0 默认)/基波无功计量(1)）；

c.校表寄存器 0x16H 基波无功相位校正 写入 0xFF66 即可；

基波抽取滤波器用于完成基波测量功能，对高于 3 次(150Hz)以上的谐波信号进行衰减，仅保留基波成分，谐波衰减率在-30dB 以上。

2.16.9 正反向能量

HT7136 提供正反向电能

3. 通讯接口

3.1 SPI

HT7136 的 SPI 口的规格改动:

HT7136 支持全失压和 Sleep 模式, 此时计量芯片外部高频晶体停振, SPI 以 SCLK 为时钟。

在全失压及 sleep 模式下, 内部 1.8V 处于关闭状态, 因此, 对寄存器的支持需求为:

- 1) Sleep 下需要保存数据的寄存器: 电流有效值校正寄存器(0x01~0x1F);

HT7136 的 SPI 规格如下:

- (1) 兼容现有的 ATT7022EU SPI 口通讯功能;
- (2) 增加在 CS 一直拉低的情况下, SPI 口可以一直保持通讯功能;
- (3) 每一次数据传输共 32 bit, 一旦用户在通讯过程中出错, 需要用户通过复位引脚或者复位目标芯片;
- (4) SDO 口在 CS 拉高的情况下为高阻状态;
- (5) 目前 SPI 口通讯开始信号为 SCK 上升沿同时判断 CS 是否为低, SPI 通讯结束标志为已经传输了 32bit 数据或者 CS 信号被拉高;
- (6) 如果用户在传输大于 32bit, 小于 64bit 的数据过程中将 CS 拉高, 则第一个 32bit 命令被处理, 后面的不足 32bit 的命令被抛弃;
- (7) 具有高速 SPI, 最高速度为 10MHz;
- (8) 增加特殊命令字 0xCC/CD 为特殊命令字, 为前导命令字。

3.1.1 SPI 通讯定义

HT7136 内部集成一个 SPI 串行通讯接口, 采用从属方式工作, 使用 2 条控制线和两条数据线: CS/SCLK/DIN/DOOUT。

CS: 片选(INPUT), 允许访问控制线, CS 发生下降沿跳变时表示 SPI 操作开始, CS 发生上升沿跳变时表示 SPI 操作结束。

DIN: 串行数据输入(INPUT), 用于把数据传输到 HT7136 中。

DOOUT: 串行数据输出(OUTPUT), 用于从 HT7136 寄存器中读出数据。

SCLK: 串行时钟(INPUT), 控制数据移出或移入串行口的传输率。上升沿放数据, 下降沿取数据。SCLK 上升沿时将寄存器中的数据放置于 DOOUT 上输出, SCLK 下降沿时将 DIN 上的数据采样到 HT7136 中, MSB 在前, LSB 在后。

(1) 固定长度的数据传输 (一共 4 个字节), 也就是说每次数据通讯都是 1 个字节命令和 3 个字节的数据。

(2) 通讯中从机输出是以 SCK 上升沿输出数据, 从机输入是从 SCK 下降沿采样数据, MSB 在前, LSB

在后。

(3) 命令寄存器的接收则会清 0 内部 SPI 数据传输的数据寄存器。

(4) SPI 通讯的帧结构：

命令寄存器：读写位+7 位要访问的寄存器地址（接收主机的命令）

数据寄存器：3 字节（24bit）（接收主机送来的数据）

HT7136 与外部 MCU 的 SPI 通讯接口典型接线如图所示：

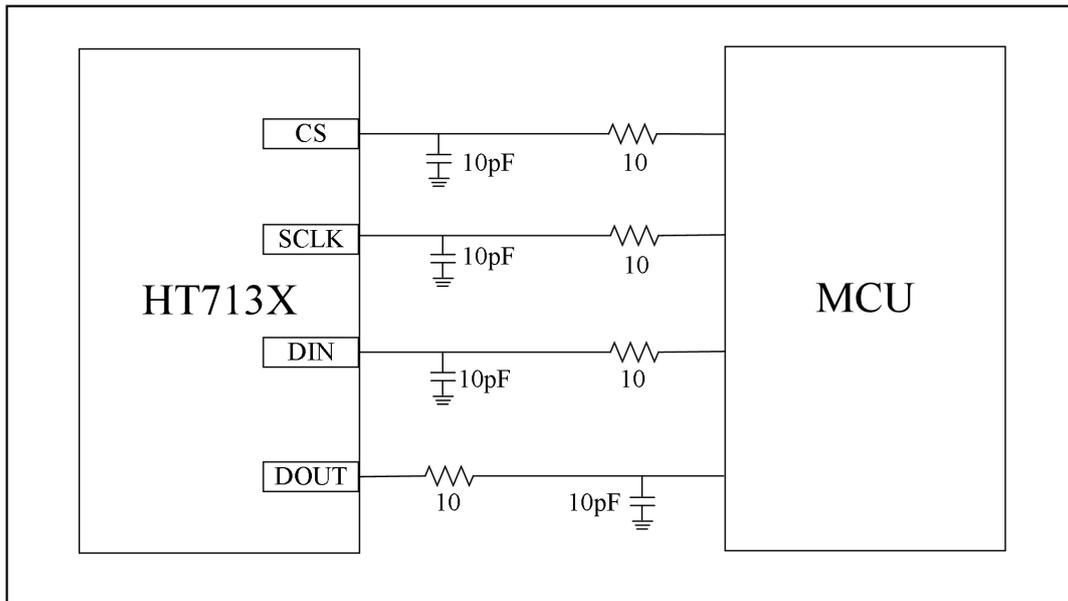


图 3-1-1 SPI 典型接线图

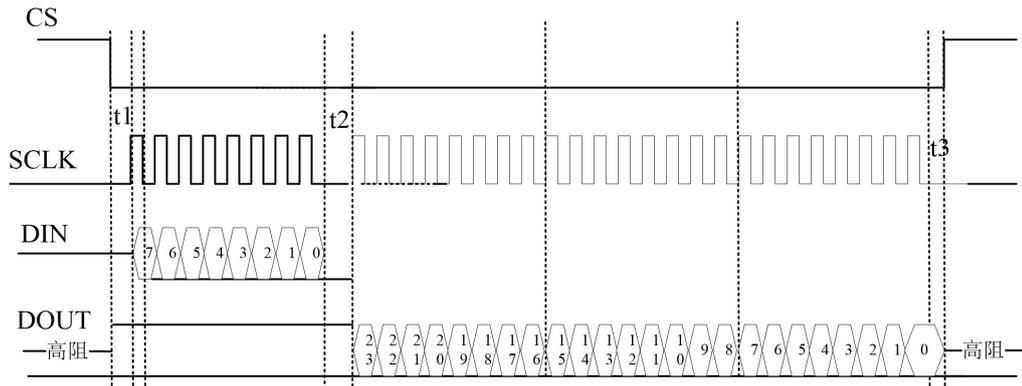
考虑 SPI 传输信号线有可能受到干扰或者出现抖动，可以在 SPI 信号线上串联一个小电阻，这个电阻与 IC 输入端的寄生电容 C 结合起来可构成一个低通滤波器，可以消除 SPI 接口信号上的振荡，一般推荐使用 10~100Ω 电阻。如果数字输入端的内部电容不够大，还可在这个输入端加一个外接电容，可选 10pF 左右的电容。对于这两个电阻、电容参数选择，需根据 SPI 通讯速率以及外部 MCU 的信号进行分析和实验，以确定电阻、电容值是否适合。

3.1.2 SPI 初始化

HT7136 的计量参数及校表参数寄存器是通过 SPI 与外部 MCU 通讯的。

$t_1 = 3 \text{ OSC}$ (外部晶振时钟, 3/5.5296M) $t_2 = 4 \text{ OSC}$ $t_3 = 2 \text{ OSC}$

1) SPI 读操作：

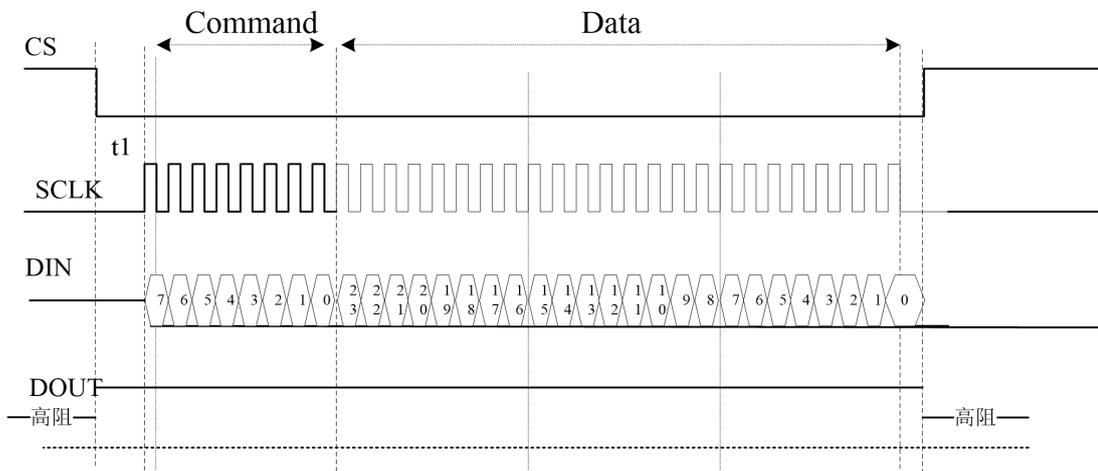


读操作时序

HT7136 的 SPI 通讯格式是相同的，8 位命令，24 位数据，MSB 在前，LSB 在后，发送 8 位命令后，读取 24 位数据。其中 8 位命令位格式说明如下：

- Bit7: 0 表示读命令，用于外部 MCU 读取计量芯片寄存器数据
- Bit7: 1 表示写命令，用于外部 MCU 写计量芯片寄存器参数
- Bit6...0: 表示寄存器地址，参照寄存器定义部分

2) SPI 写操作



写操作时序

HT7136 的 SPI 通讯格式是相同的，8 位命令，24 位数据，MSB 在前，LSB 在后，发送 8 位命令后，紧接着写入 24 位数据。其中 8 位命令位格式说明如下：

- Bit7: 0 表示读命令，用于外部 MCU 读取计量芯片寄存器数据
- Bit7: 1 表示写命令，用于外部 MCU 写计量芯片寄存器参数
- Bit6...0: 表示寄存器地址，参照寄存器定义部分

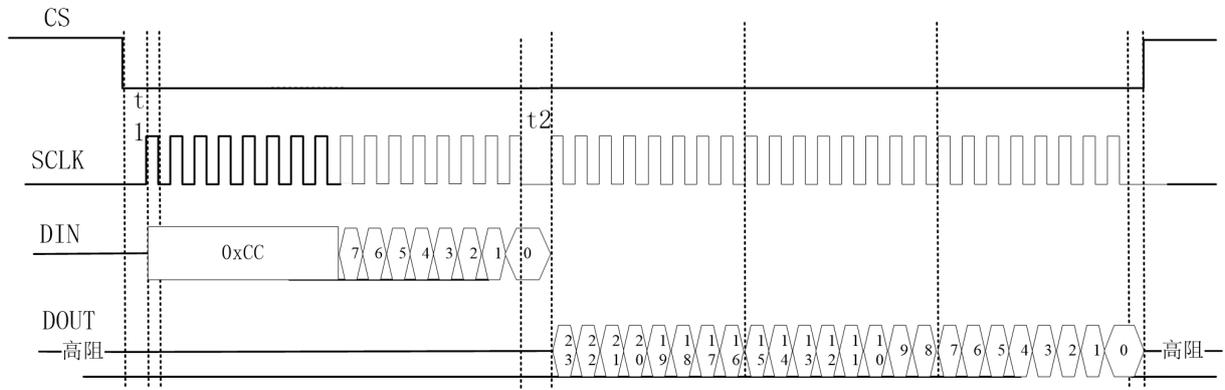
通讯过程中有校验和的计算，对命令（1 个字节）和接收的数据（或发送的数据）全部累加，累加结果存入一个 2 字节的校验和寄存器，最高字节是上一次传输的命令寄存器。也就是说一共是 3 字节的寄存器，

最高字节是上一次传输的命令，后两个是全部的校验和。

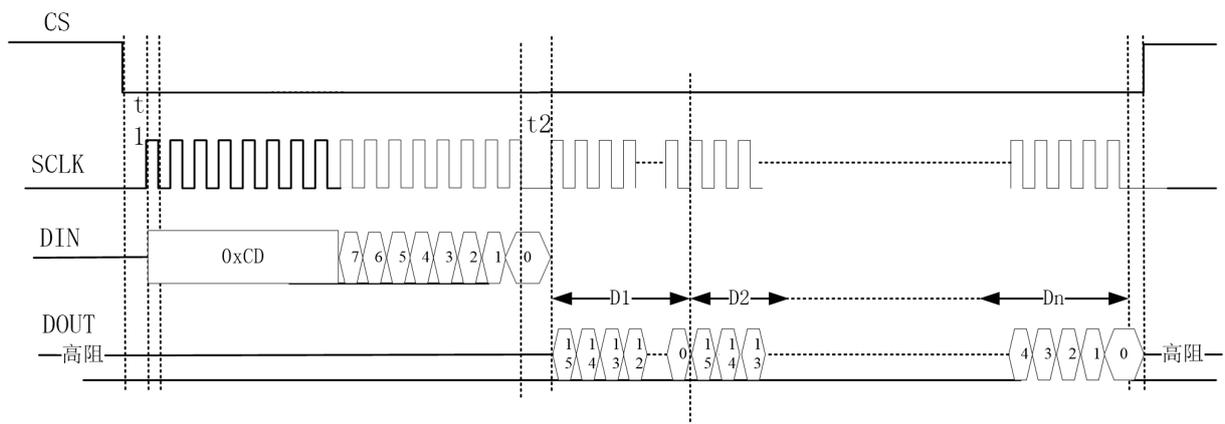
新增：0xCC 读取第二套计量参数寄存器前导命令字；0xCD 连续读取缓存 buffer 前导命令字

SPI 通讯帧格式为：

主机发送 0xCC + Addr：其中 Addr 为第二套计量参数寄存器地址，然后读取 24bit 数据；



主机发送 0xCD + 0x7F：其中 0x7F 为缓存 buffer 读取数据接口，数据格式为 16bit 数据；



3.1.3 特殊命令

HT7136 提供的特殊命令主要有：0xC0，0xC1，0xC3，0xC4，0xC5，0xC6，0xC9，0xCC，0xCD 和 0xD3。

注意：C0 命令是针对 ADC 采样功能的，在同步采样功能中不能配置。

特殊命令	命令字	24 位数据	命令说明
采样数据缓冲启动命令	0xC0	0x00CCC X	写入 0x00CCCx 启动波形数据缓冲，其它数据无效。这里 x 代表需要保存数据的通道号，0~B 有效，依次对应： Ua/Ia/Ub/Ib/Uc/Ic/In/Ua+Ia/Ub+Ib/Uc+Ic/Ua+Ub+Uc/Ia+Ib+Ic
缓冲数据读指针设置	0xC1	0x000000	用于指定读取数据的位置，数值取 0~4095 范围内有效，超过边界则自动归零。
清校表数据	0xC3	0x000000	发送命令字 0xC3，数据位为 0x000000，可以将校表数据寄存器的内容恢复到上电初始值，然后重新进行校表
同步数据系	0xC4	0x000120	同步数据系数自动模式下根据信号频率自动计算；手动模式

数设置			下根据信号频率计算写入。												
同步数据启动命令	0xC5	0x000002	<p>同步数据功能启动命令，写入 0x000002 开启自动同步数据功能；写入 0x000003 开启手动同步数据功能；写入 0x000000 停止同步数据功能。同步数据功能为单次有效，每次开启前须先停后开。</p> <table border="1"> <tr> <td>Bit</td> <td>23---6</td> <td>5...</td> <td>3...2</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Name</td> <td>--</td> <td>SourceSel [1:0]</td> <td>PGA[1:0]</td> <td>Syn_En</td> <td>Sync_el</td> </tr> </table> <p> Sync_En: =1 启动同步数据缓存；=0 停止同步数据缓存 Sync_sel: =1 选择手动方式；=0 选择自动方式 PGA[1:0]: 同步采样数据增益系数，0x00/01/10/11 分别表示增益 1/2/4/8 倍（便于在小信号时提高分次谐波精度） SourceSel[1:0]: =0 存 7 路同步采样数据； =1 存 3 路电压同步采样数据 =2 存 3 路电流同步采样数据 注意：同步缓冲功能受写保护命令的保护，即往 0xC9 写不等于 0x005A 开启写保护命令，此时无法启动同步采样功能。 </p>	Bit	23---6	5...	3...2	1	0	Name	--	SourceSel [1:0]	PGA[1:0]	Syn_En	Sync_el
Bit	23---6	5...	3...2	1	0										
Name	--	SourceSel [1:0]	PGA[1:0]	Syn_En	Sync_el										
校表数据读出	0xC6	0x00005A	<p>上电复位后默认读出计量数据寄存器的参数。发送命令 0xC6，数据不等于 0x000005A,选择通过 SPI 读出 00~7FH 的计量数据寄存器的参数。发送命令 0xC6，数据等于 0x00005A,选择 SPI 读出校表数据寄存器的参数，此时不可读出计量参数寄存器的值。选择读出校表数据寄存器的参数时，从 0x00 地址读出的值固定为 0x00AAAA，否则读取计量参数 0x00 地址为 0x7122A0/7126A0。</p>												
校表数据写使能	0xC9	0x00005A	<p>上电复位后默认使能 SPI 校表数据寄存器写操作。发送命令 0xC9，数据 0x00005A，可以使能 SPI 校表写操作，此时才能通过 SPI 口修改校表数据寄存器的参数。 发送命令 0xC9，数据不等于 0x00005A,可以关闭 SPI 校表寄存器的写操作，防止校表数据被 SPI 误写。</p>												
第二套计量参数寄存器前导命令字	0xCC		<p>主机发送 0xCC + Addr: 其中 Addr 为第二套计量参数寄存器地址，然后读取 24bit 数据</p>												
连续读取缓存 buffer 前导命令字	0xCD		<p>主机发送 0xCD + 0x7F: 其中 0x7F 为缓存 buffer 读取数据接口，数据格式为 16bit 数据</p>												
软件复位	0xD3	0x000000	<p>发送命令 0xD3，数据 0x000000 可以对 HT7136 进行复位操作。</p>												

3.1.4 校验和

(1) 三字节的寄存器 r_Backreg 会保存上一次 SPI 通讯的传输值。

- (2) 对 SPI 传输数据帧校验和寄存器的读取会导致该校验和寄存器的重新计算。
- (3) 将所有的校表寄存器做累加，累加后的结果放入一个 3 字节的参数和寄存器，参数和寄存器固定时间更新，这样用户可以通过查询这个寄存器的数据是否改变来判断是否出错。

3.1.5 SPI I/O口状态

- (1) 对于 SPI 口的状态，对于只做为从机的计量芯片而言，正常模式，当计量芯片未被选中的时候，输出口 MISO 为高阻态，输入口 MOSI 为输入状态。
- (2) 在芯片 Reset 的时候，输出口 MISO 为高阻态，输入口 MOSI, SCK, CS 为输入状态。
- (3) MISO 在 SPI 启动之前第一次通讯初始值为 0，在每次 CS 拉低重新启动通讯时 MISO 保持上一次通讯最后的状态。

3.1.6 相关寄存器

BackupData Register (r_BCKREG)			Address: 2D				
	Bit23	22	21	20...3	2	1	Bit0
Read:	BCKData23	BCKData22	BCKData21	BCKData20.....BCKData3	BCKData2	BCKData1	BCKData0
Write:	X	X	X	X	X	X	X
Reset:	0	0	0	0	0	0	0

r_BCKREG 寄存器是保存上一次 SPI 通讯传输的数据，共 3 个字节，分别代表上一次数据的高，中，低字节。

ComChecksum Register (r_ComChkSum)				Address: 2E				
	Bit15	14	13	12...3	2	1	Bit0	
Read:	Ccheck 15	Ccheck 22	Ccheck 21	Ccheck 12..... Ccheck 3	Ccheck 2	Ccheck 1	Ccheck 0	
Write:	X	X	X	X	X	X	X	
Reset:	0	0	0	0	0	0	0	
	Bit23	22	21	20	19	18	17	Bit16
Read:	Ccheck 23	Ccheck 22	Ccheck 21	Ccheck 20	Ccheck 19	Ccheck 18	Ccheck 17	Ccheck 16
Write:	X	X	X	X	X	X	X	X
Reset:	0	0	0	0	0	0	0	0

通讯校验和寄存器：每次 SPI 通讯的命令和数据都被累加放入 r_ComChkSum 寄存器的低两个字节。ComChecksum 的高 8 位 bit16...bit23 会保存 SPI 通讯的上一次的命令。

SPI 通讯中的数据为单字节长度的加法。

4. EMU寄存器

HT7136 具有两套寄存器——计量参数寄存器和校表参数寄存器，其中计量参数寄存器为只读，校表参数寄存器可读写。由于 SPI 通讯帧格式决定了寄存器访问地址为 0x00~0x7F，而计量参数寄存器及校表参数寄存器总数超过 128 个，故将计量参数寄存器与校表参数寄存器分开，复用地址方式实现，具体操作说明如下：

当 SPI 命令为读命令时，则通过先写寄存器 w_REGSel 进行选择，当 w_REGSel=0x005A 时，读出校表参数寄存器的值，当 w_REGSel != 0x005A 时，读出计量参数寄存器的值。

当 SPI 命令为写命令时，不管 w_REGSel 是否等于 0x005A，都访问校表参数寄存器。

上电复位后默认读出计量参数寄存器的值。

4.1 计量参数寄存器列表

计量参数寄存器列表(Read Only)

地址	名称	字长	复位值	功能描述
00H	r_DeviceID	——	0x7122A0	Device ID
01H	r_Pa	3	0x000000	A 相有功功率
02H	r_Pb	3	0x000000	B 相有功功率
03H	r_Pc	3	0x000000	C 相有功功率
04H	r_Pt	3	0x000000	合相有功功率
05H	r_Qa	3	0x000000	A 相无功功率
06H	r_Qb	3	0x000000	B 相无功功率
07H	r_Qc	3	0x000000	C 相无功功率
08H	r_Qt	3	0x000000	合相无功功率
09H	r_Sa	3	0x000000	A 相视在功率
0AH	r_Sb	3	0x000000	B 相视在功率
0BH	r_Sc	3	0x000000	C 相视在功率
0CH	r_St	3	0x000000	合相视在功率
0DH	r_UaRms	3	0x000000	A 相电压有效值
0EH	r_UbRms	3	0x000000	B 相电压有效值
0FH	r_UcRms	3	0x000000	C 相电压有效值

10H	r_IaRms	3	0x000000	A 相电流有效值
11H	r_IbRms	3	0x000000	B 相电流有效值
12H	r_IcRms	3	0x000000	C 相电流有效值
13H	r_ItRms	3	0x000000	三相电流矢量和的有效值
14H	r_Pfa	3	0x000000	A 相功率因数
15H	r_Pfb	3	0x000000	B 相功率因数
16H	r_Pfc	3	0x000000	C 相功率因数
17H	r_Pft	3	0x000000	合相功率因数
18H	r_Pga	3	0x000000	A 相电流与电压相角
19H	r_Pgb	3	0x000000	B 相电流与电压相角
1AH	r_Pgc	3	0x000000	C 相电流与电压相角
1BH	r_INTFlag	3	0x000000	中断标志，读后清零
1CH	r_Freq	3	0x000000	线频率
1DH	r_EFlag	3	0x000000	电能寄存器的工作状态，读后清零
1EH	r_Epa	3	0x000000	A 相有功电能（可配置为读后清零）
1FH	r_Epb	3	0x000000	B 相有功电能（可配置为读后清零）
20H	r_Epc	3	0x000000	C 相有功电能（可配置为读后清零）
21H	r_Ept	3	0x000000	合相有功电能（可配置为读后清零）
22H	r_Eqa	3	0x000000	A 相无功电能（可配置为读后清零）
23H	r_Eqb	3	0x000000	B 相无功电能（可配置为读后清零）
24H	r_Eqc	3	0x000000	C 相无功电能（可配置为读后清零）
25H	r_Eqt	3	0x000000	合相无功电能（可配置为读后清零）
26H	r_YUaUb	3	0x000000	Ua 与 Ub 的电压夹角
27H	r_YUaUc	3	0x000000	Ua 与 Uc 的电压夹角
28H	r_YUbUc	3	0x000000	Ub 与 Uc 的电压夹角
29H	r_RmsADC7	3	0x000000	第七路 ADC 输入信号的有效值
2AH	r_TPSD	3	0x000000	温度传感器的输出
2BH	r_UtRms	3	0x000000	三相电压矢量和的有效值

2CH	r_Sflag	3	0x000000	存放断相、相序、SIG 等标志状态
2DH	r_BckReg	3	0x0000000	通讯数据备份寄存器
2EH	r_ComChksum	3	0x000000	通讯校验和寄存器
2FH	r_Sample_IA	3	0x000000	A 相电流通道 ADC 采样数据
30H	r_Sample_IB	3	0x000000	B 相电流通道 ADC 采样数据
31H	r_Sample_IC	3	0x000000	C 相电流通道 ADC 采样数据
32H	r_Sample_UA	3	0x000000	A 相电压通道 ADC 采样数据
33H	r_Sample_UB	3	0x000000	B 相电压通道 ADC 采样数据
34H	r_Sample_UC	3	0x000000	C 相电压通道 ADC 采样数据
35H	r_Esa	3	0x000000	A 相视在电能 (可配置为读后清零)
36H	r_Esb	3	0x000000	B 相视在电能 (可配置为读后清零)
37H	r_Esc	3	0x000000	C 相视在电能 (可配置为读后清零)
38H	r_Est	3	0x000000	合相视在电能 (可配置为读后清零)
39H	r_FstCntPa	3	0x000000	A 相有功快速脉冲计数
3AH	r_FstCntPb	3	0x000000	B 相有功快速脉冲计数
3BH	r_FstCntPc	3	0x000000	C 相有功快速脉冲计数
3CH	r_FstCntPt	3	0x000000	合相有功快速脉冲计数
3DH	r_PFlag	3	0x000000	有功/无功功率方向, 正向为 0, 负向为 1
3EH	r_ChkSum	3	0x01D4CD	校表数据校验和(三相四线模式下)01H~3FH
		3	0x01E0CD	校表数据校验和(三相三线模式下)01H~3FH
3FH	r_InstADC7	3	0x000000	第七路 ADC 采样数据输出
40H	r_FundPa	3	0x000000	A 相基波有功功率
41H	r_FundPb	3	0x000000	B 相基波有功功率
42H	r_FundPc	3	0x000000	C 相基波有功功率
43H	r_FundPt	3	0x000000	合相基波有功功率
44H	r_FundEpa	3	0x000000	A 相基波正向有功电能(可配置为读后清零)
45H	r_FundEpb	3	0x000000	B 相基波正向有功电能(可配置为读后清零)

46H	r_FundEpc	3	0x000000	C 相基波正向有功电能(可配置为读后清零)
47H	r_FundEpt	3	0x000000	合相基波正向有功电能(可配置为读后清零)
48H	r_FundUaRrms	3	0x000000	基波 A 相电压有效值
49H	r_FundUbRrms	3	0x000000	基波 B 相电压有效值
4AH	r_FundUcRrms	3	0x000000	基波 C 相电压有效值
4BH	r_FundIaRrms	3	0x000000	基波 A 相电流有效值
4CH	r_FundIbRrms	3	0x000000	基波 B 相电流有效值
4DH	r_FundIcRrms	3	0x000000	基波 C 相电流有效值
4EH	r_Fundlag	3	0x000000	基波电能寄存器的工作状态, 读后清零
4FH	r_SAGFlag	3	0x000000	SAG 标志寄存器
50H	r_PeakUa	3	0x000000	A 相电压最大值(SAG_Peak)
51H	r_PeakUb	3	0x000000	B 相电压最大值(SAG_Peak)
52H	r_PeakUc	3	0x000000	C 相电压最大值(SAG_Peak)
53H	r_FstCntQa	3	0x000000	A 相无功快速脉冲计数
54H	r_FstCntQb	3	0x000000	B 相无功快速脉冲计数
55H	r_FstCntQc	3	0x000000	C 相无功快速脉冲计数
56H	r_FstCntQt	3	0x000000	合相无功快速脉冲计数
57H	r_FundQa	3	0x000000	A 相基波无功功率
58H	r_FundQb	3	0x000000	B 相基波无功功率
59H	r_FundQc	3	0x000000	C 相基波无功功率
5AH	r_FundQt	3	0x000000	合相基波无功功率
5CH	r_Vrefgain	3	0x000000	Vref 自动补偿系数
5DH	r_ChipID	3	0x7022E1	芯片版本指示寄存器
5EH	r_ChkSum1	3	0x01F2F5	新增校表寄存器校验和(60H~7FH)
5FH	r_ChkSumCRC	3	0x00912A	所有校表参数校验和 CRC16(01~3F/60~7F)
60H	r_HarPa	3	0x000000	A 相谐波有功功率
61H	r_HarPb	3	0x000000	B 相谐波有功功率
62H	r_HarPc	3	0x000000	C 相谐波有功功率

63H	r_HarPtP	3	0x000000	合相正向谐波有功功率
64H	r_HarPtN	3	0x000000	合相反向谐波有功功率
65H	r_HarUaRrms	3	0x000000	谐波 A 相电压有效值
66H	r_HarUbRrms	3	0x000000	谐波 B 相电压有效值
67H	r_HarUcRrms	3	0x000000	谐波 C 相电压有效值
68H	r_HarIaRrms	3	0x000000	谐波 A 相电流有效值
69H	r_HarIbRrms	3	0x000000	谐波 B 相电流有效值
6AH	r_HarIcRrms	3	0x000000	谐波 C 相电流有效值
6BH	r_HarEpa	3	0x000000	A 相谐波有功电能（可配置为读后清零）
6CH	r_HarEpb	3	0x000000	B 相谐波有功电能（可配置为读后清零）
6DH	r_HarEpc	3	0x000000	C 相谐波有功电能（可配置为读后清零）
6EH	r_HarEptP	3	0x000000	合相谐波正向有功电能(可配置为读后清零)
6FH	r_HarEptN	3	0x000000	合相谐波反向有功电能(可配置为读后清零)
70H	r_FundEpa	3	0x000000	A 相基波反向有功电能(可配置为读后清零)
71H	r_FundEpb	3	0x000000	B 相基波反向有功电能(可配置为读后清零)
72H	r_FundEpc	3	0x000000	C 相基波反向有功电能(可配置为读后清零)
73H	r_FundEpt	3	0x000000	合相基波反向有功电能(可配置为读后清零)
74H	r_UadetCNT	3	0x000000	A 相电压通道 SAG/Peak 计数值(SAG_Peak)
75H	r_UbdetCNT	3	0x000000	B 相电压通道 SAG/Peak 计数值(SAG_Peak)
76H	r_UcdetCNT	3	0x000000	C 相电压通道 SAG/Peak 计数值(SAG_Peak)
77H	r_UaDetVP	3	0x000000	A 相电压通道 SAG/Peak/INT 期间的最值
78H	r_UbDetVP	3	0x000000	B 相电压通道 SAG/Peak/INT 期间的最值
79H	r_UcDetVP	3	0x000000	C 相电压通道 SAG/Peak/INT 期间的最值
7AH	r_UabRrms	3	0x000000	AB 线电压有效值
7BH	r_UbcRrms	3	0x000000	BC 线电压有效值
7CH	r_UacRrms	3	0x000000	AC 线电压有效值
7EH	r_PtrWavebuff	3	0x000000	缓冲数据指针，指示内部缓冲 buffer 已有数据长度

7FH	r_WaveBuff	3	0x000000	缓冲数据寄存器，内部自增益，重复读取直至读完缓冲数据长度
以下部分为第二套计量参数寄存器组				
00H	r_Epabak	3	0x000000	A 相有功电能备份（可配置为读后清零）
01H	r_Epbbak	3	0x000000	B 相有功电能备份（可配置为读后清零）
02H	r_Epcbak	3	0x000000	C 相有功电能备份（可配置为读后清零）
03H	r_Eptbak	3	0x000000	合相有功电能备份（可配置为读后清零）
04H	r_Eqabak	3	0x000000	A 相无功电能备份（可配置为读后清零）
05H	r_Eqbbak	3	0x000000	B 相无功电能备份（可配置为读后清零）
06H	r_Eqcbak	3	0x000000	C 相无功电能备份（可配置为读后清零）
07H	r_Eqtbak	3	0x000000	合相无功电能备份（可配置为读后清零）
08H	r_FstCntPabak	3	0x000000	A 相有功快速脉冲计数备份
09H	r_FstCntPbbak	3	0x000000	B 相有功快速脉冲计数备份
0AH	r_FstCntPcbak	3	0x000000	C 相有功快速脉冲计数备份
0BH	r_FstCntPtbak	3	0x000000	合相有功快速脉冲计数备份
0CH	r_FstCntQabak	3	0x000000	A 相无功快速脉冲计数备份
0DH	r_FstCntQbbak	3	0x000000	B 相无功快速脉冲计数备份
0EH	r_FstCntQcbak	3	0x000000	C 相无功快速脉冲计数备份
0FH	r_FstCntQtbak	3	0x000000	合相无功快速脉冲计数备份
10H	r_Esabak	3	0x000000	A 相视在电能备份（可配置为读后清零）
11H	r_Esbbak	3	0x000000	B 相视在电能备份（可配置为读后清零）
12H	r_Escbak	3	0x000000	C 相视在电能备份（可配置为读后清零）
13H	r_Estbak	3	0x000000	合相视在电能备份（可配置为读后清零）
14H	r_FundEpabak	3	0x000000	A 相基波正向有功电能备份（可配置为读后清零）
15H	r_FundEpbbak	3	0x000000	B 相基波正向有功电能备份（可配置为读后清零）
16H	r_FundEpcbak	3	0x000000	C 相基波正向有功电能备份（可配置为读后清零）
17H	r_FundEptbak	3	0x000000	合相基波正向有功电能备份（可配置为读后清零）
18H	r_FundEpbak	3	0x000000	A 相基波反向有功电能备份（可配置为读后清零）

19H	r_FundEpbbak	3	0x000000	B 相基波反向有功电能备份(可配读后清零)
1AH	r_FundEpcbak	3	0x000000	C 相基波反向有功电能备份(可配读后清零)
1BH	r_FundEptbak	3	0x000000	合相基波反向有功电能备份(可配读后清零)
1CH	r_HarEpabak	3	0x000000	A 相谐波有功电能备份 (可配读后清零)
1DH	r_HarEpbbak	3	0x000000	B 相谐波有功电能备份(可配置为读后清零)
1EH	r_HarEpcbak	3	0x000000	C 相谐波有功电能备份(可配置为读后清零)
1FH	r_HarEptPbak	3	0x000000	合相谐波正向有功电能备份(可配读后清零)
20H	r_HarEptNbak	3	0x000000	合相谐波反向有功电能备份(可配读后清零)

4.2 计量参数寄存器说明

4.2.1 Device ID (Addr: 0x00) CHIPID (Addr: 0x5D)

芯片内部包含一个 DeviceID 和一个 CHIPID 共两个寄存器用于存放芯片型号及版本号信息。

芯片型号	DeviceID (地址: 0x00)	CHIPID (地址: 0x5D)
HT7136	0x7122A0	0x7022E1

4.2.2 功率寄存器 (地址: 0x01~0x0C, 0x40~0x43, 0x57~0x5A)

功率寄存器包括: 有功功率、无功功率、视在功率, 以及基波/谐波有功功率。

Addr	0x01	0x02	0x03	0x04	0x05	0x06	0x07	0x08	0x09	0x0A
Reg	Pa	Pb	Pc	Pt	Qa	Qb	Qc	Qt	Sa	Sb
Addr	0x0B	0x0C	0x40	0x41	0x42	0x43	0x57	0x58	0x59	0x5A
Reg	Sc	St	LinePa	LinePb	LinePc	LinePt	LineQa	LineQb	LineQc	LineQt

Active Power Register (Pa~Pt)		Address: 01H~04H						
	Bit23	22	21	20 ... 3	2	1	Bit0	
Read:	P23	P22	P21	P20...P3	P2	P1	P0	
Write:	X	X	X	X	X	X	X	
Reset:	0	0	0	0	0	0	0	

Rective Power Register (Qa~Qt)		Address: 05H~08H						
	Bit23	22	21	20 ... 3	2	1	Bit0	
Read:	Q23	Q22	Q21	Q20...Q3	Q2	Q1	Q0	
Write:	X	X	X	X	X	X	X	
Reset:	0	0	0	0	0	0	0	

Apparent Power Register (Sa~St)		Address: 09H~0CH						
	Bit23	22	21	20 ... 3	2	1	Bit0	
Read:	S23	S22	S21	S20...S3	S2	S1	S0	
Write:	X	X	X	X	X	X	X	
Reset:	0	0	0	0	0	0	0	

Line active Power Register (基波有功功率, Pa~Pt)		Address: 40H~43H						
	Bit23	22	21	20 ... 3	2	1	Bit0	
Read:	LP23	LP22	LP21	LP20...LP3	LP2	LP1	LP0	
Write:	X	X	X	X	X	X	X	
Reset:	0	0	0	0	0	0	0	

Line Reactive Power Register (基波无功功率, $Q_a \sim Q_t$)			Address: 57H~5AH				
	Bit23	22	21	20 ... 3	2	1	Bit0
Read:	LP23	LP22	LP21	LP20...LP3	LP2	LP1	LP0
Write:	X	X	X	X	X	X	X
Reset:	0	0	0	0	0	0	0

HT7136 功率寄存器采用补码形式给出，最高位是符号位，所以根据 HT7136 功率寄存器给出的有功和无功功率的方向，可以直接得到当前所处的象限。视在功率总是大于或者等于 0，所以视在功率的符号位始终为 0。

功率寄存器格式定义：

A/B/C 分相功率参数：X

X：24 位数据，补码形式

如果 $X > 2^{23}$ ，则 $XX = X - 2^{24}$

否则 $XX = X$

实际的 A/B/C 分相功率参数为： $XXX = XX * K$ （其中 K 为功率参数系数，所有功率参数共用）。

A/B/C 合相功率参数：T

T：24 位数据，补码形式

如果 $T > 2^{23}$ ，则 $TT = T - 2^{24}$

否则 $TT = T$

实际的合相功率参数为： $TTT = TT * 2 * K$ （其中 K 为功率参数系数，所有功率参数共用）。

单位：功率单位是瓦(W)，功率系数 $K = 2.592 * 10^{10} / (HFconst * EC * 2^{23})$

其中 HFconst 为寄存器 HFconst 写入值，EC 为电表常数。

4.2.3 有效值寄存器（地址：0x0D~0x013、0x29、0x2B、0x48~0x4D）

Addr	0x0D	0x0E	0x0F	0x10	0x11	0x12	0x13	0x2B
Reg	UaRms	UbRms	UcRms	IaRms	IbRms	IcRms	ItRms	UtRms
Addr	0x29	0x48	0x49	0x4A	0x4B	0x4C	0x4D	
Reg	InRms	LUaRms	LUbRms	LUCRms	LlIaRms	LlIbRms	LlIcRms	

Voltage Rms Register (Urms)			Address: 0DH~0FH、2BH				
	Bit23	22	21	20 ... 3	2	1	Bit0

Read:	Urms23	Urms22	Urms21	Urms20...Urms3	Urms2	Urms1	Urms0
Write:	X	X	X	X	X	X	X
Reset:	0	0	0	0	0	0	0

Current Rms Register (Irms)		Address: 10H~13H、29H					
	Bit23	22	21	20 ... 3	2	1	Bit0
Read:	Irms23	Irms22	Irms21	Irms20...Irms3	Irms2	Irms1	Irms0
Write:	X	X	X	X	X	X	X
Reset:	0	0	0	0	0	0	0

Line Rms Register (Lrms)		Address: 48H~4DH					
	Bit23	22	21	20 ... 3	2	1	Bit0
Read:	Lrms23	Lrms22	Lrms21	Lrms20...Lrms3	Lrms2	Lrms1	Lrms0
Write:	X	X	X	X	X	X	X
Reset:	0	0	0	0	0	0	0

HT7136 有效值寄存器采用补码形式给出，最高位是符号位，有效值总是大于或者等于 0，所以有效值的符号位始终为 0。

分相 Vrms: 24 位数据，补码形式

实际分相电压有效值为: $U_{rms} = V_{rms}/2^{13}$

实际分相电流有效值为: $I_{rms} = (V_{rms}/2^{13})/N$

(比例系数 N 定义: 额定电流 Ib 输入到芯片端取样电压为 50mV 时, 对应的电流有效值寄存器值为 Vrms, $V_{rms}/2^{13}$ 约等于 60, 此时 $N=60/I_b$, $I_b=1.5A$, $N=60/1.5=40$, $I_b=6A$, $N=60/6=10$)

同理, 当输入到芯片端取样电压为 25mV 时, $V_{rms}/2^{13}$ 约等于 30, $I_b=1.5A$, $N=30/1.5=20$, $I_b=6A$, $N=30/6=5$ 。可根据当前 Ib 电流的实际值, 计算 N 值。)

合相 Vrms: 24 位数据，补码形式

实际合相电压有效值为: $U_{rms}=V_{rms}/2^{12}$

实际合相电流有效值为: $I_{rms} = (V_{rms}/2^{12})/N$ (N 为比例系数, 计算方法同上)

单位为: 伏特(V)或者安培(A)。

关于电流矢量和的计算方式, 本处兼顾三相四线制使用零线电流互感器和不使用零线电流互感器的情况:

$$\text{算法1: } I_T = \frac{1}{2} \times \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (i_A(t) + i_B(t) + i_C(t))^2 dt}$$

$$\text{算法2: } I_T = \frac{1}{2} \times \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (i_A(t) + i_B(t) + i_C(t) - i_N(t))^2 dt}$$

采用那种算法由寄存器控制位 ISUMSel(校表参数 0x70 bit2)决定:

当 ISUMSel=0, 采用算法 1;

当 ISUMSel=1, 采用算法 2.

4.2.4 功率因数寄存器 (地址: 0x14~0x017)

Addr	0x14	0x15	0x16	0x17				
Reg	Pfa	Pfb	Pfc	Pft				

Power Factor Register (PF)		Address: 10H~13H					
	Bit23	22	21	20 ... 3	2	1	Bit0
Read:	PF23	PF22	PF21	PF20...PF3	PF2	PF1	PF0
Write:	X	X	X	X	X	X	X
Reset:	0	0	0	0	0	0	0

HT7136 功率因数寄存器采用补码形式给出, 最高位是符号位, 功率因数的符号位与有功功率的符号位一致。

PF: 24 位数据, 补码形式

如果 $PF > 2^{23}$, 则 $PFF = PF - 2^{24}$

否则 $PFF = PF$

实际功率因数为: $pf = PFF / 2^{23}$

4.2.5 功率角和电压夹角寄存器 (地址: 0x18~0x1A、0x26~0x28)

Addr	0x18	0x19	0x1A		0x26	0x27	0x28	
Reg	Pga /YIa	Pgb /YIb	Pgc /YIc		YUaUb /YUa	YUaUc /YUb	YUbUc /YUc	

Power Angle Register (Pg/YIx)		Address: 18H~1AH					
	Bit23	22	21	20 ... 3	2	1	Bit0
Read:	Pg23	Pg22	Pg21	Pg20...Pg3	Pg2	Pg1	Pg0
Write:	X	X	X	X	X	X	X
Reset:	0	0	0	0	0	0	0

相角寄存器采用补码形式给出, 高位是符号位, 表示 $-180^\circ \sim +180^\circ$ 之间的夹角。

θ : 21 位有效数据, 补码形式, 高 3 位均为扩展的符号位

如果 $\theta \geq 2^{20}$, 则 $\alpha = \theta - 2^{24}$ 否则 $\alpha = \theta$

实际相角为: $Pg = (\alpha / 2^{20}) * 180$ 度

或者 $Pg = (\alpha / 2^{20}) * \pi$ 弧度

Voltage to voltage Angle Register (Ug/YUx)	Address: 26H~28H
--	------------------

	Bit23	22	21	20 ... 3	2	1	Bit0
Read:	Ug23	Ug22	Ug21	Ug20...Ug3	Ug2	Ug1	Ug0
Write:	X	X	X	X	X	X	X
Reset:	0	0	0	0	0	0	0

电压夹角寄存器：21 位有效数据，高 3 位均为扩展的符号位，表示 0°~360°之间的夹角。电压夹角测量精度在 0.1 度，三个电压夹角寄存器 YUaUb/ YUaUc/ YUbUc 分别表示 AB/AC/BC 电压的夹角。

θ: 21 位数据；

可以通过寄存器 Ymodsel(校表参数 0x70 bit3)控制，采用两种不同的算法。

算法一：

电压夹角公式为： $YUaUb=(YUaUb/2^{20}) * 180$ 度

或者 $YUaUb=(YUaUb/2^{20}) * \pi$ 弧度

算法二：

根据采样信号 Ua/Ub/Uc 中的某一信号为参考，例如以 UA 通道为相角基准，则 YIb 表示 Ib 和 Ua 间的相角。用户可通过简单运算得知任意两个向量之间的相角，如 Ia 和 Ib 的相角 $YIaIb=YIa-YIb$ 。寄存器复用关系：YUa 复用 YUaUb 寄存器，YUb 复用 YUaUc 寄存器，YUc 复用 YUbUc 寄存器，YIa 复用 YUaIa 寄存器，YIb 复用 YUbIb 寄存器，YIc 复用 YUcIc 寄存器。

4.2.6 线频率寄存器（地址：0x1C）

Voltage Frequency Register (Freq)				Address: 1CH			
	Bit23	22	21	20 ... 3	2	1	Bit0
Read:	Freq23	Freq22	Freq21	Freq20...Freq3	Freq2	Freq1	Freq0
Write:	X	X	X	X	X	X	X
Reset:	0	0	0	0	0	0	0

电压线频率寄存器采用 24 位补码形式给出，最高位为符号位，符号位总是为 0。

Freq: 24 位数据，补码形式

实际频率为： $f=Freq/2^{13}$ ，单位：赫兹(Hz)。

4.2.7 温度传感器数据寄存器（地址：0x2A）

temperature Data Register (TPSD)				Address: 2AH			
	Bit23	22	21	20 ... 3	2	1	Bit0
Read:	TPSD 23	TPSD 22	TPSD 21	TPSD20...TPSD 3	TPSD 2	TPSD 1	TPSD 0
Write:	X	X	X	X	X	X	X
Reset:	0	0	0	0	0	0	0

温度传感器需要配置寄存器 0x31，TPS_En=1 开启，TPS_Sel=0 选择 PN 温度传感器。

数据格式为 TM: 24 位数据的低 8 位有效

如果 TM 大于 128，则 $TMM = TM - 256$

否则 $TMM = TM$

外部 MCU 读取该寄存器的值，按照上述变换之后，再根据下列公式得到真实温度值：

$$\text{真实温度 } TP = TC - 0.726 * TMM$$

其中 TC 为校正 Toffset（校表参数寄存器 6BH）时的温度值，当校正 Toffset 时温度为 25 度，则 TC 为 25。

4.2.8 能量寄存器（地址：0x1E~0x25, 0x35~0x38, 0x44~0x47）

Addr	0x1E	0x1F	0x20	0x21	0x22	0x23	0x24	0x25
Reg	Epa	Epb	Epc	Ept	Eqa	Eqb	Eqc	Eqt
Addr	0x35	0x36	0x37	0x38	0x44	0x45	0x46	0x47
Reg	Esa	Esb	Esc	Est	LineEpa	LineEpb	LineEpc	LineEpt

Active Energy Register (EP)				Address: 1E~21H			
	Bit23	22	21	20 ... 3	2	1	Bit0
Read:	EP23	EP22	EP21	EP20...EP3	EP2	EP1	EP0
Write:	X	X	X	X	X	X	X
Reset:	0	0	0	0	0	0	0

ReactiveEnergy (EQ)				Address: 22~25H			
	Bit23	22	21	20 ... 3	2	1	Bit0
Read:	EQ23	EQ22	EQ21	EQ20...EQ3	EQ2	EQ1	EQ0
Write:	X	X	X	X	X	X	X
Reset:	0	0	0	0	0	0	0

Apparent Energy (ES)				Address: 35~38H			
	Bit23	22	21	20 ... 3	2	1	Bit0
Read:	ES23	ES22	ES21	ES20...ES3	ES2	ES1	ES0
Write:	X	X	X	X	X	X	X
Reset:	0	0	0	0	0	0	0

Line Active Energy Register (LineEP)				Address: 44~47H			
	Bit23	22	21	20 ... 3	2	1	Bit0
Read:	LEP23	LEP22	LEP21	LEP20...LEP3	LEP2	LEP1	LEP0
Write:	X	X	X	X	X	X	X
Reset:	0	0	0	0	0	0	0

HT7136 提供的能量寄存器可配置为：累加型能量寄存器和清零型能量寄存器，累加型能量寄存器可以

从 0x000000 到 0xFFFFFFFF，继续累加，又回到 0x000000 开始累加，在 0xFFFFFFFF 溢出到 0x000000 时，会产生溢出标志，参考电能寄存器工作状态寄存器部分说明。

能量寄存器：24 位寄存器，无符号数

该参数与设定的脉冲常数有关，最小单位为(1/EC)kWh。

如设定的脉冲常数为 3200imp/kwh，则这些能量寄存器的单位为 1/3200kwh。

基波无功电能与全波无功电能复用，使用控制位 QEnergySel 控制(校表参数 0x70 bit4)；

当 QEnergySel=0，无功电能选择全波无功；

当 QEnergySel=1，无功电能选择基波无功；

4.2.9 快速脉冲计数寄存器（地址：0x39~0x3C， 0x53~0x56）

Addr	0x39	0x3A	0x3B	0x3C	0x53	0x54	0x55	0x56
Reg	FstCntPa	FstCntPb	FstCntPc	FstCntPt	FstCntQa	FstCntQb	FstCntQc	FstCntQt

Fast Pulse Counter (FPC)		Address: 39H~3CH, 0x53~0x56						
	Bit23	22	21	20 ... 3	2	1	Bit0	
Read:	FPC23	FPC22	FPC21	FPC20...FPC3	FPC2	FPC1	FPC0	
Write:	X	X	X	X	X	X	X	
Reset:	0	0	0	0	0	0	0	

为了防止上下电时丢失电能，HT7136 提供快速脉冲计数寄存器。当有功快速脉冲计数寄存器 FstCntPa / FstCntPb / FstCntPc / FstCntPt 计数的值大于等于 HFconst 时，相应的有功能量寄存器 Epa / Epb / Epc / Ept 会相应的加 1。无功快速脉冲计数器的功能与有功的一样。

快速脉冲计数寄存器：24 位寄存器，补码格式，高位为符号位

该参数与设定的高频脉冲常数 HFconst 及脉冲常数 EC 有关，最小单位为(1/EC/HFconst)kWh。

如设定的高频脉冲常数 HFconst=0x100=256，脉冲常数 EC=3200imp/kwh，则快速脉冲计数寄存器的单位为：1/256/3200kwh

4.2.10 标志状态寄存器（地址：0x2C）

EMU Statut Flag (r_SFlag)		Address: 2CH						
	Bit23	22	21	20	19	18	17	Bit16
Read:		HarCstart	HarBstart	HarAstart	FundCstart	FundBstart	FundAstart	
Reset:		0	0	0	0	0	0	
	Bit15	14	13	12	11	10	9	Bit8
Read:		Sync_ready	Negq	Negp	Cstart	Bstart	Astart	ModFlag
Reset:		0	0	0	0	0	0	0

	Bit7	6	5	4	3	2	1	Bit0
Read:	SIG	Revq	Revp	Iorder	Uorder	PC	PB	PA
Reset:	0	0	0	0	0	0	0	0

位名称	描述
Bit00	= 1 表示 A 相失压, $U_{arms} < w_FailVoltage(0x1F)$ 设置阈值
Bit01	= 1 表示 B 相失压, $U_{brms} < w_FailVoltage(0x1F)$ 设置阈值
Bit02	= 1 表示 C 相失压, $U_{crms} < w_FailVoltage(0x1F)$ 设置阈值
Bit03	= 1 表示电压相序错
Bit04	= 1 表示电流向序错
Bit05	= 1 表示任意相有功功率为负,脉冲产生时更新。
Bit06	= 1 表示任意相无功功率为负, 脉冲产生时更新。
Bit07	与中断位 SIG 信号同源。
Bit08	= 1 表示当前处于三相三模式。
Bit09	=1, 表示 A 相处于潜动状态; =0, A 相处于起动状态。 当 StartSel =0, 选择电流防潜时, $I_{arms} < w_Istarup(0x1D)$ 设置阈值 当 StartSel =1, 选择功率防潜时, Pa 和 Qa 同时 $< w_Pstartup(0x36)$ 设置阈值
Bit10	=1, 表示 B 相处于潜动状态; =0, B 相处于起动状态。 当 StartSel =0, 选择电流防潜时, $I_{brms} < w_Istarup(0x1D)$ 设置阈值 当 StartSel =1, 选择功率防潜时, Pb 和 Qb 同时 $< w_Pstartup(0x36)$ 设置阈值
Bit11	=1, 表示 C 相处于潜动状态; =0, C 相处于起动状态。 当 StartSel =0, 选择电流防潜时, $I_{crms} < w_Istarup(0x1D)$ 设置阈值 当 StartSel =1, 选择功率防潜时, Pc 和 Qc 同时 $< w_Pstartup(0x36)$ 设置阈值
Bit12	=1, 表示合相有功功率为负; =0, 合相有功功率为正。脉冲产生时更新
Bit13	=1, 表示合相无功功率为负; =0, 合相无功功率为正。脉冲产生时更新
Bit14	=1, 表示同步数据缓存完毕, Sync_En 写 0 清除。
Bit17	=1, 表示 A 相基波处于潜动状态; =0, A 相基波未潜动。
Bit18	=1, 表示 B 相基波处于潜动状态; =0, B 相基波未潜动。
Bit19	=1, 表示 C 相基波处于潜动状态; =0, C 相基波未潜动。
Bit20	=1 表示 A 相谐波处于潜动状态
Bit21	=1 表示 B 相谐波处于潜动状态
Bit22	=1 表示 C 相谐波处于潜动状态

注：电流逆序判别条件，电流逆序的屏蔽条件为起动电流，与潜动标志无关，因此配置起动阈值时，需要同时写起动电流阈值(校表参数 0x1D)与起动功率阈值(校表参数 0x36)。

4.2.11 电能寄存器工作状态寄存器（地址：0x1D,0x4E）

EMU Interrupt Flag (r_INTFlag)			Address: 1DH					
	Bit23	22	21	20	19	18	17	Bit16
Read:					QtOV_n	QcOV_n	QbOV_n	QaOV_n
Reset:					0	0	0	0
	Bit15	14	13	12	11	10	9	Bit8
Read:	PtOV_n	PcOV_n	PbOV_n	PaOV_n	StOV	ScOV	SbOV	SaOV
Reset:	0	0	0	0	0	0	0	0
	Bit7	6	5	4	3	2	1	Bit0
Read:	QtOV_p	QcOV_p	QbOV_p	QaOV_p	PtOV_p	PcOV_p	PbOV_p	PaOV_p
Reset:	0	0	0	0	0	0	0	0

该寄存器读后自动清零。当电能寄存器采用读后不清零方式时，这些标志用于指示电能寄存器是否发生过溢出。

位名称	描述
Bit00	=1, 表示 A 相有功电能溢出; =0, 未溢出。
Bit01	=1, 表示 B 相有功电能溢出; =0, 未溢出。
Bit02	=1, 表示 C 相有功电能溢出; =0, 未溢出。
Bit03	=1, 表示合相有功电能溢出; =0, 未溢出。
Bit04	=1, 表示 A 相无功电能溢出; =0, 未溢出。
Bit05	=1, 表示 B 相无功电能溢出; =0, 未溢出。
Bit06	=1, 表示 C 相无功电能溢出; =0, 未溢出。
Bit07	=1, 表示合相无功电能溢出; =0, 未溢出。
Bit08	=1, 表示 A 相视在电能溢出; =0, 未溢出。
Bit09	=1, 表示 B 相视在电能溢出; =0, 未溢出。
Bit10	=1, 表示 C 相视在电能溢出; =0, 未溢出。
Bit11	=1, 表示合相视在电能溢出; =0, 未溢出。
Bit12	=1, 表示 A 相反相有功电能溢出; =0, 未溢出。
Bit13	=1, 表示 B 相反相有功电能溢出; =0, 未溢出。
Bit14	=1, 表示 C 相反相有功电能溢出; =0, 未溢出。
Bit15	=1, 表示合相反相有功电能溢出; =0, 未溢出。
Bit16	=1, 表示 A 相反相无功电能溢出; =0, 未溢出。
Bit17	=1, 表示 B 相反相无功电能溢出; =0, 未溢出。
Bit18	=1, 表示 C 相反相无功电能溢出; =0, 未溢出。
Bit19	=1, 表示合相反相无功电能溢出; =0, 未溢出。

EMU Interrupt Flag (r_Fundlag)			Address: 4EH					
	Bit23	22	21	20	19	18	17	Bit16
Read:	Pos_pc_ har_p	Pos_pb_ har_p	Pos_pa_ har_p	harPtOV_n	harPtOV_p	harPcOV	harPbOV	harPaOV

Reset:								
	Bit15	14	13	12	11	10	9	Bit8
Read:	Pos_qt_ fun_p	Pos_qc_ fun_p	Pos_qb_ fun_p	Pos_qa_ fun_p	Pos_pt_ fun_p	Pos_pc_ fun_p	Pos_pb_ fun_p	Pos_pa_ fun_p
Reset:	0	0	0	0	0	0	0	0
	Bit7	6	5	4	3	2	1	Bit0
Read:	FundPt OV_n	FundPc OV_n	FundPb OV_n	FundPa OV_n	FundPt OV_p	FundPc OV_p	FundPb OV_p	FundPa OV_p
Reset:	0	0	0	0	0	0	0	0

该寄存器读后自动清零。当电能寄存器采用读后不清零方式时，这些标志用于指示基波/谐波电能寄存器是否发生过溢出。

位名称	描述
Bit00	=1, 表示 A 相基波正向有功电能溢出; =0, 未溢出。
Bit01	=1, 表示 B 相基波正向有功电能溢出; =0, 未溢出。
Bit02	=1, 表示 C 相基波正向有功电能溢出; =0, 未溢出。
Bit03	=1, 表示合相基波正向有功电能溢出; =0, 未溢出。
Bit04	=1, 表示 A 相基波反向有功电能溢出; =0, 未溢出。
Bit05	=1, 表示 B 相基波反向有功电能溢出; =0, 未溢出。
Bit06	=1, 表示 C 相基波反向有功电能溢出; =0, 未溢出。
Bit07	=1, 表示合相基波反向有功电能溢出; =0, 未溢出。
Bit08	=1, 表示 A 相基波有功功率为负; =0, 为正
Bit09	=1, 表示 B 相基波有功功率为负; =0, 为正
Bit10	=1, 表示 C 相基波有功功率为负; =0, 为正
Bit11	=1, 表示合相基波有功功率为负; =0, 为正
Bit12	=1, 表示 A 相基波无功功率为负; =0, 为正
Bit13	=1, 表示 B 相基波无功功率为负; =0, 为正
Bit14	=1, 表示 C 相基波无功功率为负; =0, 为正
Bit15	=1, 表示合相基波无功功率为负; =0, 为正
Bit16	=1, 表示 A 相谐波有功电能溢出; =0, 未溢出。
Bit17	=1, 表示 B 相谐波有功电能溢出; =0, 未溢出。
Bit18	=1, 表示 C 相谐波有功电能溢出; =0, 未溢出。
Bit19	=1, 表示合相谐波正向有功电能溢出; =0, 未溢出。
Bit20	=1, 表示合相谐波反向有功电能溢出; =0, 未溢出。
Bit21	=1, 表示 A 相谐波有功功率为负; =0, 为正
Bit22	=1, 表示 B 相谐波有功功率为负; =0, 为正
Bit23	=1, 表示 C 相谐波有功功率为负; =0, 为正

4.2.12 功率脉冲方向寄存器（地址：0x3D）

Power Flag (r_PFlag)		Address: 3DH						
	Bit23	22	21	20	19	18	17	Bit16
Read:								

Reset:								
	Bit15	14	13	12	11	10	9	Bit8
Read:	QtSign_P	QcSign_P	QbSign_P	QaSign_P	PtSign_P	PcSign_P	PbSign_P	PaSign_P
Reset:	0	0	0	0	0	0	0	0
	Bit7	6	5	4	3	2	1	Bit0
Read:	QtSign_E	QcSign_E	QbSign_E	QaSign_E	PtSign_E	PcSign_E	PbSign_E	PaSign_E
Reset:	0	0	0	0	0	0	0	0

功率方向指示寄存器，用于指示 A/B/C/合相有功及无功功率的方向。

xxSign_P: 功率寄存器更新时，更新该标志位，来源于平均功率符号位；

xx Sign_E: 产生脉冲时更新，标志来源于 PFCNT 的正负。

位名称	描述
Bit00	=1, 表示 A 相有功能量反向; =0, 正向。
Bit01	=1, 表示 B 相有功能量反向; =0, 正向。
Bit02	=1, 表示 C 相有功能量反向; =0, 正向。
Bit03	=1, 表示合相有功能量反向; =0, 正向。
Bit04	=1, 表示 A 相无功能量反向; =0, 正向。
Bit05	=1, 表示 B 相无功能量反向; =0, 正向。
Bit06	=1, 表示 C 相无功能量反向; =0, 正向。
Bit07	=1, 表示合相无功能量反向; =0, 正向。
Bit08	=1, 表示 A 相有功功率反向; =0, 正向。
Bit09	=1, 表示 B 相有功功率反向; =0, 正向。
Bit10	=1, 表示 C 相有功功率反向; =0, 正向。
Bit11	=1, 表示合相有功功率反向; =0, 正向。
Bit12	=1, 表示 A 相无功功率反向; =0, 正向。
Bit13	=1, 表示 B 相无功功率反向; =0, 正向。
Bit14	=1, 表示 C 相无功功率反向; =0, 正向。
Bit15	=1, 表示合相无功功率反向; =0, 正向。

4.2.13 中断标志寄存器（地址：0x1B）

EMU Interrupt Flag (r_INTFlag)		Address: 1BH						
	Bit23	22	21	20	19	18	17	Bit16
Read:		UEndC	UEndB	UEndA	UStartC	UStartB	UStartA	
Reset:								
	Bit15	14	13	12	11	10	9	Bit8
Read:		TPS_Ok	BufferFull		HSDC_IF	UINTIF	UlostIF	IOVIF
Reset:		0	0		0	0	0	0
	Bit7	6	5	4	3	2	1	Bit0
Read:	PeakIF	SAGIF	WaveIF	UcZx	UbZx	UaZx	Udata	SIG

Reset:	0	0	0	0	0	0	0	0
--------	---	---	---	---	---	---	---	---

当中断使能开启后，若置位表示发生相应事件，标志位采用读后清零(IRQ 除外)。

位名称	描述
Bit00	芯片 SIG 信号，=1，表示提示用户校表，写校表清零。
Bit01	=1，表示计量参数更新中断；=0，未发生此中断。
Bit02	=1，表示发生 A 相电压过零中断；=0，未发生此中断。
Bit03	=1，表示发生 B 相电压过零中断；=0，未发生此中断。
Bit04	=1，表示发生 C 相电压过零中断；=0，未发生此中断。
Bit05	=1，表示发生 ADC 采样数据寄存器数据更新中断；=0，未发生此中断。
Bit06	=1，表示发生 SAG 事件；=0，表示未发生 SAG 事件
Bit07	=1，表示发生过压事件；=0，表示未发生过压事件
Bit08	=1，表示发生电流过流情况。
Bit09	=1，表示发生全失压工况。
Bit10	=1，表示电压中断情况发生
Bit11	HSDC 中断标志
Bit13	=1，表示发生缓冲 buffer 满中断；=0，未发生此中断。
Bit14	=1，表示 TPS 转换结束；=0，未发生此中断
Bit17	=1，表示 A 相电压发生 SA/Peak 工况
Bit18	=1，表示 B 相电压发生 SAG/Peak 工况
Bit19	=1，表示 C 相电压发生 SAG/Peak 工况
Bit20	=1，表示 A 相电压 SAG/Peak 工况结束
Bit21	=1，表示 B 相电压 SAG/Peak 工况结束
Bit22	=1，表示 C 相电压 SAG/Peak 工况结束

4.2.14 ADC采样数据寄存器（地址：0x2F~0x34、0x3F）

Addr	0x2F	0x30	0x31	0x32	0x33	0x34	0x3F
Reg	Sample_IA	Sample_IB	Sample_IC	Sample_UA	Sample_UB	Sample_UC	InstADC7

ADC Sampledata Register (SampleData)		Address: 0x2F~0x34、0x3F						
	Bit23	22	21	20 ... 3	2	1	Bit0	
Read:	Sample2 3	Sample2 2	Sample21	Sample20...Sample3	Sample2	Sample1	Sample0	
Write:	X	X	X	X	X	X	X	
Reset:	0	0	0	0	0	0	0	

ADC 采样数据有效位为 20 位，bit0~18 为数据位，bit19 为符号位，bit20~23 为补符号位。实时存储 ADC 采样数据，可配合中断 WaveIE 得到 ADC 实时采样数据。

4.2.15 校表数据校验和寄存器（地址：0x3E/5E）

该寄存值根据校表参数计算得到，复位后先以最快的速度计算校验和，后以 3.5Hz 频率更新。

Cali-Checksum Register (Scheck)			Address: 3EH/5EH				
	Bit23	22	21	20...3	2	1	Bit0
Read:	Chksum23	Chksum22	Chksum21	Chksum20...Chksum3	Chksum2	Chksum1	Chksum0
Write:	X	X	X	X	X	X	X
Reset:	0	0	0	0	0	0	0

HT7136 提供校验和寄存器 ChkSum，用于存放 HT7136 内部所有校表数据的校验和，外部 MCU 可以检测校表参数校验和寄存器的值来监控 HT7136 的校表数据是否错乱。注意，校表参数寄存器校验和 (0x1E) 是从地址 0x01 到 0x39 的所有校表数据之和，采用无符号方式累加，且只保留低 24 位。

新增校表寄存器校验和(0x5E)存放的是校表参数地址 0x60 到 0x71 的所有校表数据之和，采用无符号方式累加，且只保留低 24 位。

4.2.16 通讯数据备份寄存器（地址：0x2D）

BackupData Register (BCKREG)			Address: 2DH				
	Bit23	22	21	20...3	2	1	Bit0
Read:	BCKData23	BCKData22	BCKData21	BCKData20...BCKData3	BCKData2	BCKData1	BCKData0
Write:	X	X	X	X	X	X	X
Reset:	0	0	0	0	0	0	0

BCKREG 寄存器是保存上一次 SPI 通讯传输的数据，共 3 个字节，分别存储 SPI 通讯读取数据或者写入的上一次数据的高，中，低字节。

4.2.17 通讯校验和寄存器（地址：0x2E）

ComChecksum Register (Ccheck)			Address: 2EH				
	Bit23	22	21	20...3	2	1	Bit0
Read:	Ccheck23	Ccheck 22	Ccheck 21	Ccheck20... Ccheck 3	Ccheck 2	Ccheck 1	Ccheck 0
Write:	X	X	X	X	X	X	X
Reset:	0	0	0	0	0	0	0

通讯校验和寄存器：每次 SPI 通讯的命令和数据都被累加放入 r_ComChkSum 寄存器的低两个字节。ComChecksum 的高 8 位 bit16...bit23 会保存 SPI 通讯的上一次的命令。

SPI 通讯中的数据为单字节长度的加法。

4.2.18 SAG标志寄存器(0x4F)

SAG Flag(SAGFlag)				Address: 4FH				
	Bit 15	Bit 14	Bit 13	Bit 12	Bit 11	Bit 10	Bit 9	Bit 8
Read:	-	-	-	-	IcOV	IbOV	IaOV	UcINT
Write:	X	X	X	X	X	X	X	X
Reset:	0	0	0	0	0	0	0	0
	Bit7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit0
Read:	UbINT	UaINT	UcPeak	UbPeak	UaPeak	UcSAG	UbSAG	UaSAG
Write:	X	X	X	X	X	X	X	X
Reset:	0	0	0	0	0	0	0	0

SAG 状态标志寄存器：用于指示 A/B/C 相电压是否发生过超出阈值的情况发生，读后清零。

位名称	描述
Bit00	=1, 表示 A 相电压发生 SAG 事件; =0, 正常。
Bit01	=1, 表示 B 相电压发生 SAG 事件; =0, 正常。
Bit02	=1, 表示 C 相电压发生 SAG 事件; =0, 正常。
Bit03	=1, 表示 A 相电压发生 PEAK 事件; =0, 正常。
Bit04	=1, 表示 B 相电压发生 PEAK 事件; =0, 正常。
Bit05	=1, 表示 C 相电压发生 PEAK 事件; =0, 正常。
Bit06	=1, 表示 A 相电压发生 UINT 事件; =0, 正常。
Bit07	=1, 表示 B 相电压发生 UINT 事件; =0, 正常。
Bit08	=1, 表示 C 相电压发生 UINT 事件; =0, 正常。
Bit09	=1, 表示 A 相电流发生 IOV 事件; =0, 正常。
Bit10	=1, 表示 B 相电流发生 IOV 事件; =0, 正常。
Bit11	=1, 表示 C 相电流发生 IOV 事件; =0, 正常。

4.2.19 峰值电压寄存器(0x50~0x52)

Addr	0x50	0x51	0x52					
Reg	PeakUa	PeakUb	PeakUc					

用于存储 A/B/C 相电压在设定数据长度之间的最大值。

峰值电压寄存器为 20 位补码数据，bit19 为符号位，bit20~23 无效，与 SAG 功能相配合，记录 SAG 长度设置寄存器 Cyclength 设置时间长度内电压最大值。与电压有效值 Urms 的计算公式：

$$\text{PeakU} = \text{Urms} * 2^9 * 1.414$$

与电压有效值寄存器值 Vrms 的关系：

$$\text{PeakU} = \text{Vrms} / 16 * 1.414$$

4.3 校表参数寄存器列表

HT7136 具有 Sleep 模式，在 sleep 模式下，校表参数需要保存，唤醒后校表参数不会被改写，同时唤醒后需要重新计算校表参数校验和。SLEEP 模式下需要保存的校表参数寄存器为 0x01~0x1F, 0x50~52 用于全失压

校表参数寄存器列表: (Read/Write)

地址	名称	字长	复位值	功能描述
00	Reserved	2	0xAAAA	校表参数寄存器起始标志
01	w_ModeCfg	2	0x89AA	模式相关控制
02	w_PGACtrl	2	0x0000	ADC 增益选择
03	w_EMUCfg	2	0x0804	EMU 模块配置寄存器
04	w_PgainA	2	0x0000	A 相有功功率增益
05	w_PgainB	2	0x0000	B 相有功功率增益
06	w_PgainC	2	0x0000	C 相有功功率增益
07	w_QgainA	2	0x0000	A 相无功功率增益
08	w_QgainB	2	0x0000	B 相无功功率增益
09	w_QgainC	2	0x0000	C 相无功功率增益
0A	w_SgainA	2	0x0000	A 相视在功率增益
0B	w_SgainB	2	0x0000	B 相视在功率增益
0C	w_SgainC	2	0x0000	C 相视在功率增益
0D	w_PhSregApq0	2	0x0000	A 相相位校正 0
0E	w_PhSregBpq0	2	0x0000	B 相相位校正 0
0F	w_PhSregCpq0	2	0x0000	C 相相位校正 0
10	w_PhSregApq1	2	0x0000	A 相相位校正 1
11	w_PhSregBpq1	2	0x0000	B 相相位校正 1
12	w_PhSregCpq1	2	0x0000	C 相相位校正 1
13	w_PoffsetA	2	0x0000	A 相有功功率 offset 校正
14	w_PoffsetB	2	0x0000	B 相有功功率 offset 校正
15	w_PoffsetC	2	0x0000	C 相有功功率 offset 校正

16	w_QPhscal	2	0x0000	基波无功相位校正
17	w_UgainA	2	0x0000	A 相电压增益
18	w_UgainB	2	0x0000	B 相电压增益
19	w_UgainC	2	0x0000	C 相电压增益
1A	w_IgainA	2	0x0000	A 相电流增益
1B	w_IgainB	2	0x0000	B 相电流增益
1C	w_IgainC	2	0x0000	C 相电流增益
1D	w_Istarup	2	0x0160	起动电流阈值设置
1E	w_Hfconst	2	0x0500	高频脉冲输出设置
1F	w_FailVoltage	2	0x0600	失压阈值设置（三相四线模式）
		2	0x1200	失压阈值设置（三相三线模式）
20	w_GainADC7	2	0x0000	第七路 ADC 输入信号增益
21	w_QoffsetA	2	0x0000	A 相无功功率 offset 校正
22	w_QoffsetB	2	0x0000	B 相无功功率 offset 校正
23	w_QoffsetC	2	0x0000	C 相无功功率 offset 校正
24	w_UaRmsoffset	2	0x0000	A 相电压有效值 offset 校正
25	w_UbRmsoffset	2	0x0000	B 相电压有效值 offset 校正
26	w_UcRmsoffset	2	0x0000	C 相电压有效值 offset 校正
27	w_IaRmsoffset	2	0x0000	A 相电流有效值 offset 校正
28	w_IbRmsoffset	2	0x0000	B 相电流有效值 offset 校正
29	w_IcRmsoffset	2	0x0000	C 相电流有效值 offset 校正
2A	w_UoffsetA	2	0x0000	A 相电压通道 ADC offset 校正
2B	w_UoffsetB	2	0x0000	B 相电压通道 ADC offset 校正
2C	w_UoffsetC	2	0x0000	C 相电压通道 ADC offset 校正
2D	w_IoffsetA	2	0x0000	A 相电流通道 ADC offset 校正
2E	w_IoffsetB	2	0x0000	B 相电流通道 ADC offset 校正
2F	w_IoffsetC	2	0x0000	C 相电流通道 ADC offset 校正
30	w_EMUIE	2	0x0001	中断使能

31	w_ModuleCFG	2	0x3527	电路模块配置寄存器
32	w_AllGain	2	0x0000	全通道增益，用于校正 ref 自校正
33	w_HFDouble	2	0x0000	脉冲常数加倍选择
34	w_FundGain	2	0x2C59	基波增益校正
35	w_PinCtrl	2	0x000F	数字 pin 上下拉电阻选择控制
36	w_Pstartup	2	0x0030	起动功率阈值设置
37	w_Iregion0	2	0x7FFF	相位补偿区域设置寄存器
38	w_Cyclength	2	0x1000	SAG 数据长度设置寄存器
39	w_SAGLvl	2	0x4500	SAG 检测阈值设置寄存器
3A	w_PEAKLvl	2	0x0000	PEAK 检测阈值设置寄存器
3B	w_UINTLvl	2	0x0000	电压中断 INT 检测阈值设置寄存器
3C	w_InRmsoffse	2	0x0000	第七路电流有效值 offset 校正
3D	w_IoffsetN	2	0x0000	第七路电流通道 ADC offset 校正
3E	w_HFconst_Har	2	0x0000	谐波高频脉冲输出设置
60	w_Iregion1	2	0x0000	相位补偿区域设置寄存器 1
61	w_PhSregApq2	2	0x0000	A 相相位校正 2
62	w_PhSregBpq2	2	0x0000	B 相相位校正 2
63	w_PhSregCpq2	2	0x0000	C 相相位校正 2
64	w_PoffsetAL	1	0x00	A 相有功功率 offset 校正低字节
65	w_PoffsetBL	1	0x00	B 相有功功率 offset 校正低字节
66	w_PoffsetCL	1	0x00	C 相有功功率 offset 校正低字节
67	w_QoffsetAL	1	0x00	A 相无功功率 offset 校正低字节
68	w_QoffsetBL	1	0x00	B 相无功功率 offset 校正低字节
69	w_QoffsetCL	1	0x00	C 相无功功率 offset 校正低字节
6A	w_ItRmsoffset	2	0x0000	电流矢量和 offset 校正寄存器
6B	w_TPSoffset	2	0x0000	TPS 初值校正寄存器
6C	w_TPSgain	2	0x0000	TPS 斜率校正寄存器

6D	w_TCcoeffA	2	0xFEFF	Vrefgain 的二次系数
6E	w_TCcoeffB	2	0xEF7A	Vrefgain 的一次系数
6F	w_TCcoeffC	2	0x047C	Vrefgain 的常数项
70	w_EMCCfg	2	0x0000	新增算法控制寄存器 1
71	w_OILVL	2	0x0000	过流阈值设置寄存器
72	w_ANACfg1	2	0x0000	模拟控制寄存器 1
73	w_ANACfg2	2	0x0000	模拟控制寄存器 2
74	w_ANACfg3	2	0x0000	模拟控制寄存器 3
75	w_DIGCCfg	2	0x0000	新增数字算法控制寄存器 2
76	w_Ixphase	3	0x000000	电流通道移采样点控制寄存器，其中高中低 3 个字节分别对应 Ia/Ib/Ic
77	w_Uxphase	3	0x000000	电压通道移采样点控制寄存器，其中高中低 3 个字节分别对应 I0/Ub/Uc
以下为特殊命令				
40	w_WaveCommand	2	0x0000	波形数据缓冲起动命令（0xC0 命令）
41	w_WaveAdd	2	0x0000	指定缓冲数据起始读取点（C1 命令）
42	w_BakReg	2	0x0000	能量寄存器备份命令
43	w_CalRegClr	2	0x0000	清校表参数（0xC3 命令）
44	w_SynCoef	2	0x0000	同步数据功能系数
45	w_SynCtrl	2	0x0000	同步数据功能控制
46	w_Regsel	2	0x0000	计量/校表参数寄存器切换(0xC6 命令)
49	w_WrPreg	2	0x005A	写保护寄存器，默认打开，可写
4C	r_FrontCom	2	0x0000	第二计量参数读取前导命令
4D	r_ContCom	2	0x0000	连读读命令字扩展命令
50	w_ModeCfg	2	0x0000	模式控制命令(3.3V 全失压)
51	VOLDROPCFG	2	0x0000	全失压参数配置寄存器(3.3V 全失压)
52	VOLDROPIF	2	0x0000	全失压标志输出寄存器(3.3V 全失压)
53	w_SrstRge	2	0x0000	软件复位寄存器（0xD3 命令）

4.4 校表参数寄存器说明

4.4.1 模式配置寄存器（地址：0x01）

ANA 控制寄存器(w_ModeCfg)					Address:0x01			
	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
Write	Chop_R	UacSel	Rmslpf_	RMS_P_	RESERVED[11:10]		SampleR	SampleR
Read	EF_En		en	UP			1	0
Reset	1	0	0	0	1	0	0	1
	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
Write	I_MOD_	EnADC	EnADC	EnADC	EnADC	EnADC	EnADC	EnADC
Read	CHOP_	6	5	4	3	2	1	0
Reset	1	0	1	0	1	0	1	0

位名称	描述																				
Bit00	=1 表示开启零线电流 I0 通道 adc; =0 关闭。Sample 寄存器不再更新, rms 寄存器为 0																				
Bit01	=1 表示开启 Ia 通道 adc; =0 关闭。Sample 寄存器不再更新, rms 寄存器为 0																				
Bit02	=1 表示开启 Ua 通道 adc; =0 关闭。Sample 寄存器不再更新, rms 寄存器为 0																				
Bit03	=1 表示开启 Ib 通道 adc; =0 关闭。Sample 寄存器不再更新, rms 寄存器为 0																				
Bit04	=1 表示开启 Ub 通道 adc; =0 关闭。Sample 寄存器不再更新, rms 寄存器为 0																				
Bit05	=1 表示开启 Ic 通道 adc; =0 关闭。Sample 寄存器不再更新, rms 寄存器为 0																				
Bit06	=1 表示开启 Uc 通道 adc; =0 关闭。Sample 寄存器不再更新, rms 寄存器为 0																				
Bit07	=1 表示开启 adc 的 chop 功能; =0 关闭。 推荐关闭, 配置为 0。																				
Bit09 Bit08	SampleR1/0: 用于选择 femu 时钟 <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;">00</td> <td style="width: 50%; text-align: center;">01</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">1.8432MHz</td> <td style="text-align: center;">921.6kHz</td> </tr> </table>	00	01	1.8432MHz	921.6kHz																
00	01																				
1.8432MHz	921.6kHz																				
Bit11 Bit10	内部保留位, 请用户保持默认值																				
Bit12	PRFCFG 有效值, 功率更新频率 (与 femu 时钟无关) <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>RMS_P_UP</th> <th>Rmslpf_en</th> <th>功率有效值更新频率 (720 点平均)</th> <th>功率有效值更新频率 (单周波平均)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">0</td> <td style="text-align: center;">1</td> <td style="text-align: center;">10Hz</td> <td style="text-align: center;">25 Hz</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">1</td> <td style="text-align: center;">1</td> <td style="text-align: center;">2Hz</td> <td style="text-align: center;">5 Hz</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">0</td> <td style="text-align: center;">0</td> <td style="text-align: center;">20Hz</td> <td style="text-align: center;">50 Hz</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">1</td> <td style="text-align: center;">0</td> <td style="text-align: center;">4Hz</td> <td style="text-align: center;">10 Hz</td> </tr> </tbody> </table>	RMS_P_UP	Rmslpf_en	功率有效值更新频率 (720 点平均)	功率有效值更新频率 (单周波平均)	0	1	10Hz	25 Hz	1	1	2Hz	5 Hz	0	0	20Hz	50 Hz	1	0	4Hz	10 Hz
RMS_P_UP	Rmslpf_en	功率有效值更新频率 (720 点平均)	功率有效值更新频率 (单周波平均)																		
0	1	10Hz	25 Hz																		
1	1	2Hz	5 Hz																		
0	0	20Hz	50 Hz																		
1	0	4Hz	10 Hz																		

Bit13	选择有效值、功率的稳定时间，=1 表示慢速，跳动小；=0 快速，跳动大。 正常应用时，为得到稳定的有效值，推荐慢速方式； 在全失压模式下，为快速得到电流有效值，推荐选用快速。 Rmslpf_En =1 打开 EMU 计量有效值/功率通道上滤波器； =0，关闭 EMU 计量有效值/功率通道上滤波器。
Bit14	三相三线时 Ub 有效值数据源选择，=1 表示内部(ua-uc)；=0 表示 ub 通道。
Bit15	=1 表示开启 ref 的 chop 功能；=0 关闭。为得到更稳定的 Vref，推荐打开。

注：功率和有效值平均点数的选择由校表参数寄存器 75H bit11 选择。

4.4.2 ADC增益配置寄存器（地址：0x02）

Analog PGA Control(PGACtrl)				Address: 02H				
	Bit 15	Bit 14	Bit 13	Bit 12	Bit 11	Bit 10	Bit 9	Bit 8
Read:	-	-	-	-	-	-	UPGA1	UPGA0
Write:								
Reset:	0	0	0	0	0	0	0	0
	Bit7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit0
Read:	IcPGA1	IcPGA0	IbPGA1	IbGA0	IaPGA1	IaPGA0	I0PGA1	I0PGA0
Write:								
Reset:	0	0	0	0	0	0	0	0

位名称	描述
Bit01 Bit00	表示零线电流 I0 通道 ADC 增益放大，00/01/10/11 分别表示为 1/2/8/16 倍增益
Bit03 Bit02	表示 A 相电流通道 ADC 增益放大，00/01/10/11 分别表示为 1/2/8/16 倍增益
Bit05 Bit04	表示 B 相电流通道 ADC 增益放大，00/01/10/11 分别表示为 1/2/8/16 倍增益
Bit07 Bit06	表示 C 相电流通道 ADC 增益放大，00/01/10/11 分别表示为 1/2/8/16 倍增益
Bit09 Bit08	表示三相电压通道 ADC 增益放大，00/01/10/11 分别表示为 1/2/8/8 倍增益

4.4.3 EMU单元配置（地址：0x03）

EMUCFG			Address: 03H					
	Bit15	14	13	12	11	10	9	Bit8
Read:	FundPR un	SRun	QRun	PRun	StartSel	HAREn	WaveSel 1	WaveSel 0
Write:								
Reset:	0	0	0	0	1	0	0	0
	Bit7	6	5	4	3	2	1	Bit0
Read:	EnergyC lr	EAddmo de	Zxd1	Zxd0	Smode	SPL2	SPL1	SPL0
Write:								
Reset:	0	0	0	0	0	1	0	0

位名称	描述
Bit02 Bit01 Bi00	SPL[2:0]: 波形采样频率选择，当 fosc=5.5296M，femu=921.6kHz 时，选择频率

	如下： <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <tr> <td>1XX</td> <td>011</td> <td>010</td> <td>001</td> <td>000</td> </tr> <tr> <td>14.4K</td> <td>7.2K</td> <td>3.6K</td> <td>1.8K</td> <td>0.9K</td> </tr> </table> <p>当 femu=1.8432MHz 时，选择的波形采样频率与上表成正向比例变化。WaveSel=1x 时，除了 femu 2M OSR128 配置时波形采样频率为 1.8K 以外，2M OSR64、1M OSR64 配置下波形采样频率固定为 3.6K。</p>	1XX	011	010	001	000	14.4K	7.2K	3.6K	1.8K	0.9K
1XX	011	010	001	000							
14.4K	7.2K	3.6K	1.8K	0.9K							
Bit03	=1，视在功率/能量寄存器采用 RMS 方式计量； =0，视在功率/能量寄存器采用 PQS 方式计量。										
Bit05 Bit04	ZXD：选择电压过零中断方式 <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <tr> <td>00</td> <td>01</td> <td>1X</td> </tr> <tr> <td>正向过 0 中断</td> <td>/负向过 0 中断/</td> <td>双向过 0 中断</td> </tr> </table>	00	01	1X	正向过 0 中断	/负向过 0 中断/	双向过 0 中断				
00	01	1X									
正向过 0 中断	/负向过 0 中断/	双向过 0 中断									
Bit06	=1，三相四线制使用代数和累加方式，三相三线下使用绝对值和累加方式； =0，三相四线制使用绝对值和累加方式，三相三线下使用代数和累加方式。										
Bit07	=1，能量寄存器读后清 0； =0 能量寄存器读后不清 0。										
Bit09 Bit08	WaveSel[1:0]：非同步缓存波形缓冲数据源选择， =00，选择 ADC 采样数据来源于未经高通的原始数据； =01，选择 ADC 采样数据来源于经高通且增益校正后的数据； =1x，选择 ADC 采样数据来源于经基波滤波器后的数据。										
Bit10	=1，开启基波/谐波计量功能； =0，关闭基波/谐波计量功能。										
Bit11	=1，选择功率作为潜动起动判断依据； =0，选择电流有效值作为潜动起动判断依据。 推荐使用功率作为潜动起动判断依据。										
Bit12	=1，开启有功能量计量功能；=0，关闭有功能量计量功能。										
Bit13	=1，开启无功能量计量功能；=0，关闭无功能量计量功能。										
Bit14	=1，开启视在能量计量功能；=0，关闭视在能量计量功能。										
Bit15	=1，同时开启基波、谐波通路能量计量										

4.4.4 功率增益补偿寄存器(地址：0x04-0x0C)

Addr	0x04	0x05	0x06	0x07	0x08	0x09	0x0A	0x0B	0x0C
Reg	Pga	Pgb	Pgc	Qga	Qgb	Qgc	Sga	Sgb	Sgc

Active Power Gain (Pga~Pgc)				Address: 04H~06H			
	Bit15	14	13	12 ... 3	2	1	Bit0
Read:	Pg15	Pg14	Pg13	Pg12...Pg3	Pg2	Pg1	Pg0
Write:							
Reset:	0	0	0	0	0	0	0

Ractive Power Gain (Qga~Qgc)				Address: 07H~09H			
	Bit15	14	13	12 ... 3	2	1	Bit0

Read:	Qg15	Qg14	Qg13	Qg12...Qg3	Qg2	Qg1	Qg0
Write:							
Reset:	0	0	0	0	0	0	0

Apparent Power Gain (Sga~Sgc)				Address: 0AH~0CH			
	Bit15	14	13	12 ... 3	2	1	Bit0
Read:	Sg15	Sg14	Sg13	Sg12...Sg3	Sg2	Sg1	Sg0
Write:							
Reset:	0	0	0	0	0	0	0

在功率因数 $\cos(\varphi)=1$ 时进行功率增益校正，其中有功功率增益校正寄存器与无功功率增益校正寄存器写入同一个校正值，视在功率增益校正寄存器在 $Smode=0$ 选择 PQS 方式计量时，可以不校正，但在 $Smode=1$ 选择 RMS 方式计量时，需要校正，校正值与有功/无功功率增益值相同。

已知：

标准表上读出误差为 $err\%$

计算公式：

$$Pgain = \frac{-err\%}{1+err\%}$$

如果 $Pgain \geq 0$ ，则 $GP1 = INT[Pgain * 2^{15}]$

否则 $Pgain < 0$ ，则 $GP1 = INT[2^{16} + Pgain * 2^{15}]$

4.4.5 相位校正寄存器(地址：0x0D~0x12, 0x61~0x63)

Power Phase Calibrate (Pha~Phc)				Address: 0DH~12H, 61H~63H			
	Bit15	14	13	12 ... 3	2	1	Bit0
Read:	Ph15	Ph14	Ph13	Ph12...Ph3	Ph2	Ph1	Ph0
Write:							
Reset:	0	0	0	0	0	0	0

在功率因数 $\cos(\varphi)=1$ 时，功率增益已经校正好之后，再进行相位补偿，相位校正 $\cos(\varphi)=0.5L$ 时进行校正。

已知：0.5L 处标准表误差读数为 $err\%$

相位补偿公式：

$$\theta = \frac{-err\%}{1.732}$$

如果 $\theta \geq 0$ ， $PhSregpq = INT[\theta * 2^{15}]$

否则 $\theta < 0$ ， $PhSregpq = INT[2^{16} + \theta * 2^{15}]$

4.4.6 功率offset校正 (地址: 0x13~0x15, 0x21~0x23, 0x64~0x69)

Active Power Offset (Posa~Posc)				Address: 13H~15H, 64H~66H			
	Bit15	14	13	12 ... 3	2	1	Bit0
Read:	Pos15	Pos14	Pos13	Pos12...Pos3	Pos2	Pos1	Pos0
Write:							
Reset:	0	0	0	0	0	0	0

Reactive Power Offset (Qosa~Qosc)				Address: 21H~23H, 67H~69H			
	Bit15	14	13	12 ... 3	2	1	Bit0
Read:	Qos15	Qos14	Qos13	Qos12...Qos3	Qos2	Qos1	Qos0
Write:							
Reset:	0	0	0	0	0	0	0

在功率增益校正及相位校正后, 进行功率 offset 校正, 输入小信号 x%Ib (5%或者 2%) 点的电表误差为 Err%

x%Ib 点在阻性下读取标准表上输出的有功功率值 P_{real}

应用公式来计算,

当 Femu = 921.6kHz 时:

$$P_{offset} = \text{INT}[(P_{real} * EC * HFCONST * 2^{31} * (-Err\%)) / (2.592 * 10^{10})];$$

当 Femu = 1.8432MHz 时:

$$P_{offset} = \text{INT}[(P_{real} * EC * HFCONST * 2^{31} * (-Err\%)) / (5.184 * 10^{10})];$$

计算值 P_{offset} 的高 16bit 写入寄存器(校表参数 0x13~0x15);低 8 位写入寄存器(0x64~0x66)。

Q_{offset} 的计算过程与 P_{offset} 一样, 计算值 Q_{offset} 的高 16bit 写入寄存器(校表参数 0x21~23);低 8 位写入寄存器(0x67~0x69)。

4.4.7 基波无功相位校正寄存器(地址: 0x16)

Reactive Power Phase(Qph)				Address: 16H			
	Bit15	14	13	12 ... 3	2	1	Bit0
Read:	Qph15	Qph14	Qph13	Qph12...Qph3	Qph2	Qph1	Qph0
Write:							
Reset:	0	0	0	0000	0	0	0

默认值对应于 femu=921.6K 时的情况, 不需要再校正; femu 为其他频率、或测量的工频频率不为 50Hz 时需要按照下面的公式进行校正: 只用于无功选择为基波无功时使用, 无功选择全波无功时不需校正。

在 30 度时进行校正, 功率 Q 的误差值为: err%

QPhasCal 的计算公式为:

如果 $err \geq 0$, $QPhscal = INT[err\% * 32768 / 1.732]$

如果 $err < 0$, $QPhscal = INT[65536 + err\% * 32768 / 1.732 - 256]$

4.4.8 电压增益校正寄存器(地址: 0x17~0x19)

VoltageGain (Uga~Ugc)			Address: 17H~19H				
	Bit15	14	13	12 ... 3	2	1	Bit0
Read:	Ug15	Ug14	Ug13	Ug12...Ug3	Ug2	Ug1	Ug0
Write:							
Reset:	0	0	0	0	0	0	0

在 $Ugain=0$ 时, 标准表上读出实际输入电压有效值 U_r , 通过 SPI 口读出测量电压有效值寄存器的值为 $DataU$

已知:

实际输入电压有效值 U_r

测量电压有效值 $U_{rms} = DataU / 2^{13}$

计算公式:

$$Ugain = U_r / U_{rms} - 1$$

如果 $Ugain \geq 0$, 则 $Ugain = INT[Ugain * 2^{15}]$

如果 $Ugain < 0$, 则 $Ugain = INT[2^{16} + Ugain * 2^{15}]$

4.4.9 电流增益校正寄存器(地址: 0x1A~0x1C, 0x20)

CurrentGain (Iga~Igc,Ign)			Address: 1AH~1CH, 20H				
	Bit15	14	13	12 ... 3	2	1	Bit0
Read:	Ig15	Ig14	Ig13	Ig12...Ig3	Ig2	Ig1	Ig0
Write:							
Reset:	0	0	0	0	0	0	0

在 $Igain=0$ 时, 标准表上读出实际输入电流有效值 I_r , 通过 SPI 口读出测量电压有效值寄存器的值为 $DataI$

已知: 实际输入电流有效值 I_r

测量电压有效值 $I_{rms} = (DataI / 2^{13}) / N$ (额定电流对应取样信号为 25mV, 则 $N=30/I_b$; 额定电流对应取样信号为 50mV, 则 $N=60/I_b$; 详见 4.2.2 有效值寄存器描述)

计算公式:

$$Igain = I_r / I_{rms} - 1$$

如果 $Igain \geq 0$, 则 $Igain = INT[Igain * 2^{15}]$

如果 $I_{gain} \leq 0$, 则 $I_{gain} = INT[2^{16} + I_{gain} * 2^{15}]$

4.4.10 启动电流设置寄存器 (地址: 0x1D)

CurrentStart (Istart)			Address: 1DH					
	Bit 15	Bit 14	Bit 13	Bit 12	Bit 11	Bit 10	Bit 9	Bit 8
Read:	Is15	Is14	Is13	Is12	Is11	Is10	Is9	Is8
Write:								
Reset:	0	0	0	0	0	0	0	1
	Bit7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit0
Read:	Is7	Is6	Is5	Is4	Is3	Is2	Is1	Is0
Write:								
Reset:	0	1	1	0	0	0	0	0

已知: 启动电流选择 I_o 处

计算公式: $I_{startup} = INT[0.8 * I_o * 2^{13}]$

其中 $I_o = I_b * N$ 比例设置点(额定电流对应取样信号为 25mV, 则 $N = 30/I_b$; 额定电流对应取样信号为 50mV, 则 $N = 60/I_b$;) 例如, 启动电流设置为 0.4%, $I_b = 1.5A$ 取样信号 50mV, 则 $I_o = 1.5 * 40 * 0.4\%$ 。

N ——与电流有效值计算公式中的系数 N 相同。

配置启动阈值时, 需要同时写启动电流阈值(校表参数 0x1D)与启动功率阈值(校表参数 0x36)。

4.4.11 高频脉冲常数设置(地址: 0x1E)

High Frequency Constant(HFconst)			Address: 1EH					
	Bit 15	Bit 14	Bit 13	Bit 12	Bit 11	Bit 10	Bit 9	Bit 8
Read:	HF15	HF14	HF13	HF12	HF11	HF10	HF9	HF8
Write:								
Reset:	0	0	0	0	0	1	0	1
	Bit7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit0
Read:	HF7	HF6	HF5	HF4	HF3	HF2	HF1	HF0
Write:								
Reset:	0	0	0	0	0	0	0	0

参数 HFconst 决定校表用的高频脉冲输出 CF 的频率, HFconst 不能写入大于 0x000D00, 或小于 0x000002 的参数值。

已知: 高频脉冲常数 EC

额定输入电压 U_n

额定输入电流 I_b

电压输入通道取样电压 V_u (实际输入信号*模拟增益倍数)

电流输入通道取样电压 V_i (实际输入信号*模拟增益倍数)

HT7136 增益 G

HFconst 计算公式:

当 $F_{emu} = 921.6\text{kHz}$ 时:

$$HFConst = \text{INT}[2.592 * 10^{10} * G * G * V_u * V_i / (EC * U_n * I_b)]$$

当 $F_{emu} = 1.8432\text{MHz}$ 时:

$$HFConst = \text{INT}[5.184 * 10^{10} * G * G * V_u * V_i / (EC * U_n * I_b)]$$

注: 上式中 $G=1.163$, $\text{INT}[\]$ 表示取整操作, 如: $\text{INT}[5.68]=5$ 。

4.4.12 失压阈值设置寄存器(地址: 0x1F)

Voltage Fail (Ufail)		Address: 1FH						
	Bit 15	Bit 14	Bit 13	Bit 12	Bit 11	Bit 10	Bit 9	Bit 8
Read:	Uf15	Uf14	Uf13	Uf12	Uf11	Uf10	Uf9	Uf8
Write:								
Reset:	0	0	0	0	0	1	1	0
	Bit7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit0
Read:	Uf7	Uf6	Uf5	Uf4	Uf3	Uf2	Uf1	Uf0
Write:								
Reset:	0	0	0	0	0	0	0	0

注意: 三相四线时, 默认值为 0x0600, 三相三线时, 默认值为 0x1200。

失压阈值是根据校正后的电压有效值进行设定的。

具体公式为: 失压阈值 $\text{FailVoltage} = U_n * 2^5 * D$

U_n : 表示校正后的电压有效值

D : 表示失压电压百分比

例如, 三相四线制, 校正后的额定电压值 U_n 为 220V, 失压电压百分比 D 为 10%, 则失压阈值寄存器的参数为 $220 * 2^5 * 10\% = 0x02C0$ 。也就是说将 0x02C0 设定到失压阈值寄存器之后, 当输入电压低于 U_n 的 10%, 即 22V 时, 将给出失压指示。

三相三线制, 校正后的额定电压值 $U_n=100\text{V}$, 失压电压百分比 $D=60\%$, 则失压阈值寄存器的参数为 $100 * 2^5 * 60\% = 0x0780$ 。这样设置失压阈值寄存器之后, 当电压低于 U_n 的 60%, 即 60V 时, 将给出失压指示信号。

4.4.13 有效值offset校正 (地址: 0x24~0x29, 0x3C, 0x6A)

VoltageOffset (Uosa~Uosc)				Address: 24H~26H			
	Bit15	14	13	12 ... 3	2	1	Bit0
Read:	Uos15	Uos14	Uos13	Uos12...Uos3	Uos2	Uos1	Uos0
Write:							
Reset:	0	0	0	0	0	0	0

CurrentOffset (Iosa~Iosc)				Address: 27H~29H、3CH、0x6A			
	Bit15	14	13	12 ... 3	2	1	Bit0
Read:	Ios15	Ios14	Ios13	Ios12...Ios3	Ios2	Ios1	Ios0
Write:							
Reset:	0	0	0	0	0	0	0

在有效值增益校正之前, 进行 offset 校正。

已知: 输入信号为 0 的时候, 读取寄存器的值 Irms

计算公式: $IrmsOffset = (Irms^2) / (2^{15})$ 。

在分相有效值增益校正之前, 进行 ItRmsoffset 校正(校表参数 0x6A)。

已知: 输入信号为 0 的时候, 读取寄存器的值 Itrms

计算公式: $ItRmsoffset = (Itrms^2) / (2^{15})$ 。

4.4.14 ADC offset校正 (地址: 0x2A~0x2F)

Addr	0x2A	0x2B	0x2C	0x2D	0x2E	0x2F
Reg	adc_Ua	adc_Ub	adc_Uc	adc_Ia	adc_Ib	adc_Ic

AdcOffset (adc_Ua~adc_Ic)				Address: 2AH~2FH			
	Bit15	14	13	12 ... 3	2	1	Bit0
Read:	ADCos1	ADCos14	ADCos	ADCos12...ADCos	ADCos2	ADCos1	ADCos0
Write:	5		13	s3			
Reset:	0	0	0	0	0	0	0

ADC Offset 校正高通滤波器关闭情况下使用(直流测量), 用来滤除 ADC 直流偏置。在输入信号为 0 情况下多次读取 ADC 实时采样数据, 取平均值再除 2 后写入校正寄存器。

注意: ADC 实时采样数据为 20 位, 且高位补符号位, 而 ADC offset 寄存器为 16 位, 即 ADC offset 与 ADC 采样数据 20 位中的高 16 位对齐。

4.4.15 中断使能寄存器 (地址: 0x30)

EMU Interrupt Enable Register	Address: 30H
-------------------------------	--------------

(w_EMUIE)								
	Bit15	14	13	12	11	10	9	Bit8
Read:		UdetIE	BufferFull		HSDCIE	UINTIE	UlostIE	IOVIE
Write:								
Reset:	0	0	0			0	0	0
	Bit7	6	5	4	3	2	1	Bit0
Read:	PeakIE	SAGIE	WaveIE	UcZx	UbZx	UaZx	Updata	SIG
Write:								
Reset:	0	0	0	0	0	0	0	1

只有使能相应的中断位，相应中断标志才会通过 IRQ 引脚输出。

不管 EMUIE 有没有使能，r_INTFlag 寄存器在相应的事件发生后都会被置 1。

位名称	描述
Bit00	当芯片处于复位状态 IRQ 为高，复位完成后 IRQ 信号为低，当写入校表参数后即校表参数不为初始值，IRQ 信号立即拉高，当校表参数被清除即校表参数为初始值 IRQ 信号立即拉低。此位必选，无法被清除。
Bit01	有效值功率等参数寄存器更新中断使能位，=1 表示使能；=0 关闭。
Bit02	A 相电压过零中断使能位，=1 表示使能；=0 关闭。
Bit03	B 相电压过零中断使能位，=1 表示使能；=0 关闭。
Bit04	C 相电压过零中断使能位，=1 表示使能；=0 关闭。
Bit05	ADC 采样数据更新中断使能位，=1 表示使能；=0 关闭。
Bit06	SAG 中断使能位，=1 表示使能；=0 关闭。
Bit07	过压中断使能位，=1 表示使能；=0 关闭。
Bit08	过流中断使能
Bit09	全失压中断使能 全失压中断发生的条件为：三相同步发生 SAG/INT 事件
Bit10	电压 INT 中断使能
Bit11	HSDC 中断使能
Bit13	缓冲 buffer 写满的中断使能位，=1 表示使能；=0 关闭。注意同步采样功能该位无效
Bit14	Ustart/Uend 中断使能

4.4.16 模拟模块使能寄存器 (地址：0x31)

w_ModuleCFG		Address: 31H						
	Bit15	14	13	12	11	10	9	Bit8
Read:	EXT_VR	RESERVED[14:12]			SPI_Mode	RESERVED[10:8]		
Write:	EF_SEL							
Reset:	0	0	1	1	0	1	0	1
	Bit7	6	5	4	3	2	1	Bit0
Read:	TPS_sel	IRQCFG	Bor_En	TDC_EN	Rosi_en	HPFONI	HPFONI	HPFONI
Write:						U	I	I0
Reset:	0	0	1	0	0	1	1	1

位名称	描述
Bit00	=1, 开启第七通道数字高通滤波器; =0 关闭。
Bit01	=1, 开启电流通道数字高通滤波器; =0 关闭。
Bit02	=1, 开启电压通道数字高通滤波器; =0 关闭。
Bit03	=1, 选择使能电流通道的罗氏线圈功能; =0 关闭。
Bit04	=1, 选择开启 TPS 功能; =0 关闭。
Bit05	=1, 选择开启 BOR 功能; =0 关闭。
Bit06	=1, 中断选择高电平有效; =0 低电平有效。
Bit07	温度传感器类型选择信号, =0, 选择 PN 传感器(推荐); =1, 选用电阻传感器。 TPS Clock 选择控制信号, 复位值为 0; 0: TPSdata = 8bit ; 1: TPSdata =16bit;
Bit11	=1, 选择 SPI 低速模式(SCLK 频率 0~1.4MHz); =0 选择 SPI 高速模式(SCLK 频率 0~10MHz)
Bit14~12,10~8	保留位, 用户请保持默认值
Bit15	= 1, 选择外部基准, 同时内部基准关闭; = 0, 选择芯片内部基准,

4.4.17 全通道增益寄存器 (地址: 0x32)

AllChannelGain (ACG)				Address: 32H			
	Bit15	14	13	12 ... 3	2	1	Bit0
Read:	ACG15	ACG14	ACG13	ACG12...ACG3	ACG2	ACG1	ACG0
Write:							
Reset:	0	0	0	0	0	0	0

对 7 路 ADC 增加一个整体的增益校正, 主要针对 VREF 的变化引起 ADC 的满量程发生变化。这个寄存器为有符号数据, 16 位寄存器

已知: 由于 Vref 变化导致的有效值变化 $err\%$, 注意是有效值的 err , 如果是电能误差则为 $err/2$ 。

$$\text{计算公式: } Allgain = \frac{-err\%}{1+err\%}$$

如果 $Allgain \geq 0$, 则 $GP1 = INT[Allgain * 2^{15}]$

否则 $Allgain < 0$, 则 $GP1 = INT[2^{16} + Allgain * 2^{15}]$

4.4.18 脉冲加倍寄存器 (地址: 0x33)

HFDouble (HFD)				Address: 33H			
	Bit15	14	13	12 ... 3	2	1	Bit0
Read:	HFD15	HFD14	HFD13	HFD12...HFD3	HFD2	HFD1	HFD0
Write:							
Reset:	0	0	0	0	0	0	0

HT7136 提供脉冲常数加倍选择寄存器 HFDouble, 用于控制小电流时的脉冲常数加倍, 从而使小电

流时的校表速度加快，HFDouble 加倍是通过将功率值放大实现的，功率寄存器的值也同时放大，便于进行 Poffset 校正。

注意：脉冲常数加倍是通过将功率值进行放大实现的，所以仅推荐小电流时使用该功能，在大信号时不使用脉冲常数加倍功能，以免大信号时由于功率信号放大导致内部寄存器溢出而产生未知错误。

此功能主要用于小电流点的校表应用，当校表结束后请将该功能关闭。

HFDouble 寄存器内容	脉冲常数放大倍率
0x33CC	脉冲常数放大 2 倍
0x33CD	脉冲常数放大 4 倍
0x33CE	脉冲常数放大 8 倍
0x33CF	脉冲常数放大 16 倍
其他值	脉冲常数不变

4.4.19 基波增益寄存器 (地址: 0x34)

Fundamental Gain (Fgain)		Address: 34H						
	Bit 15	Bit 14	Bit 13	Bit 12	Bit 11	Bit 10	Bit 9	Bit 8
Read:	FG15	FG14	FG13	FG12	FG11	FG10	FG9	FG8
Write:								
Reset:	0	0	1	0	1	1	0	0
	Bit7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit0
Read:	FG7	FG6	FG5	FG4	FG3	FG2	FG1	FG0
Write:								
Reset:	0	1	0	1	1	0	0	1

HT7136 提供基波增益校正寄存器，对基波增益进行补偿，在基波增益寄存器 LineGain(0x34)=0x2C59(复位值)情况下进行，标准表上读出实际输入基波有效值 U_r ，通过 SPI 口读出测量基波有效值寄存器的值为 DataU。一般情况下，全波有效值校正好即可，不需要单独校正基波增益。

16 位无符号数

已知：实际输入基波有效值 U_r

测量基波有效值 $U_{rms} = \text{DataU} / 2^{13}$

计算公式：LineGain=INT[(U_r / U_{rms}) * 11346]

4.4.20 IO状态配置寄存器 (地址: 0x35)

Mode Config (ModeCfg)			Address: 35H					
	Bit 15	Bit 14	Bit 13	Bit 12	Bit 11	Bit 10	Bit 9	Bit 8
Read:	-	-	-	-	-	-	-	-
Write:								
Reset:	0	0	0	0	1	0	0	0
	Bit7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit0

Read:	-	-	-	-	DinCtrl	SclkCtrl	CsiCtrl	SelCtrl
Write:								
Reset:	0	0	0	0	1	1	1	1

位名称	描述
Bit00	3P3/3P4 模式 SEL 选择脚的内部状态, =1 表示 300k 上拉电阻; =0 为 floating。
Bit01	SPI 接口 CS 脚的内部状态, =1 表示 300k 上拉电阻; =0 为 floating。
Bit02	SPI 接口 SCLK 脚的内部状态, =1 表示 300k 上拉电阻; =0 为 floating。
Bit03	SPI 接口 DIN 脚的内部状态, =1 表示 300k 上拉电阻; =0 为 floating。

4.4.21 起动功率寄存器 (地址: 0x36)

Power Start (Pstart)					Address: 36H			
	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
Write	Ps15	Ps14	Ps13	Ps12	Ps11	Ps10	Ps9	Ps8
Read								
Reset	0	0	0	0	0	0	0	0
	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
Write	Ps7	Ps6	Ps5	Ps4	Ps3	Ps2	Ps1	Ps0
Read								
Reset	0	0	1	1	0	0	0	0

已知: 额定电压 U_b , 基本电流 I_b , 启动电流点 $k\%$

计算公式: $P_{startup} = \text{INT}[0.6 * U_b * I_b * HF_{const} * EC * k\% * 2^{23} / (2.592 * 10^{10})]$

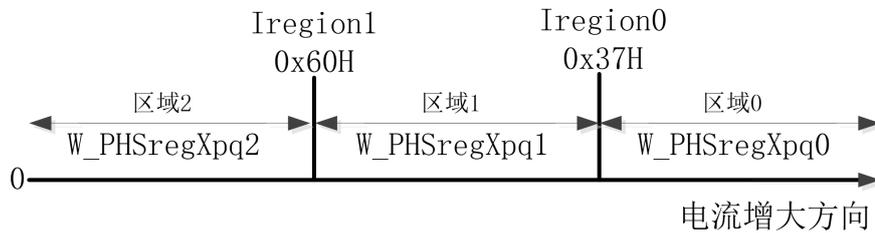
4.4.22 相位补偿区域设置寄存器(地址: 0x37/0x60)

Phase Iregion (Iregion)				Address: 37H/60H			
	Bit15	14	13	12 ... 3	2	1	Bit0
Read:	Ir15	Ir14	Ir13	Ir12...Ir3	Ir2	Ir1	Ir0
Write:							
Reset:	0	1	1	1	1	1	1

为了更好的满足外部互感器特性, 相位补偿可分为 3 段, 此寄存器用于设置电流分段点, 与电流有效值高 16bit 对齐; 相位补偿寄存器配合使用相位分段寄存器 Iregion0(校表参数 0x37)及新增加相位分段寄存器 Iregion1(校表参数 0x60), 相位补偿寄存器 0(校表参数 0x0D~0x0F), 相位补偿寄存器 1(校表参数 0x10~0x12)新增加相位补偿寄存器 2(0x61~0x63)。

当电流值有效值 $I > I_{region0}$ (校表参数 0x37), 使用 $W_PhSregXpq0$ 进行相位补偿, 当电流值有效值

$I_{region1} < I_{region0}$, 使用 $W_PhSregXpq1$ 进行相位补偿, 当电流值有效值 $I < I_{region1}$, 使用 $W_PhSregXpq2$ 进行相位补偿。如下图所示:



相位分段设置寄存器与原 HT7136 一致, 注意设置阈值 $I_{region0} > I_{region1}$

已知: 电流设置区域 I_s

计算公式: $I_{region} = INT[I_s * 2^5]$

其中 $I_s = I_b * N$ 比例设置点(额定电流对应取样信号为 25mV, 则 $N = 30/I_b$; 额定电流对应取样信号为 50mV, 则 $N = 60/I_b$;) 例如, 分段电流点设置为 15%, $I_b = 1.5A$ 取样信号 50mV, 则 $I_s = 1.5 * 40 * 15\%$ 。

N ——与电流有效值计算公式中的系数 N 相同。

4.4.23 SAG过流检测数据长度设置寄存器(0x38)

Cyclength (Cyclength)					Address: 38H			
	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
Write	Cyc15	Cyc14	Cyc13	Cyc12	Cyc11	Cyc10	Cyc9	Cyc8
Read								
Reset	0	0	0	1	0	0	0	0
	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
Write	Cyc7	Cyc6	Cyc5	Cyc4	Cyc3	Cyc2	Cyc1	Cyc0
Read								
Reset	0	0	0	0	0	0	0	0

持续时间为 SAG 长度设置寄存器 Cyclength (校表参数 0x38) 设定的 Cyclength 个半周波数, 则判定该相电压暂降。当 $Cyclength = 0x0000$ 时, 关闭 SAG 和过流检测功能。

4.4.24 SAG检测阈值设置寄存器(0x39)

SAGLevel (SAGLv1)					Address: 39H			
	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
Write	SAGLv11	SAGLv11	SAGLv11	SAGLv11	SAGLv11	SAGLv11	SAGLv19	SAGLv18

Read	5	4	3	2	1	0		
Reset	0	1	0	0	1	0	1	0
	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
Write	SAGLv1							
Read	7	6	5	4	3	2	1	0
Reset	0	0	0	0	0	0	0	0

SAG 检测阈值是根据校正后的电压峰值进行设定的。

具体公式为：检测阈值 $SAGLv1 = Un * 2^5 * 1.414 * D$

Un：表示校正后的电压有效值

D：表示 SAG 检测电压百分比

例如，三相四线制，校正后的额定电压值 Un 为 220V，检测电压百分比 D 为 50%，则检测阈值寄存器的参数为 $220 * 2^5 * 1.414 * 50\% = 0x1372$ 。也就是说将 0x1372 设定到检测阈值寄存器之后，当输入电压低于 Un 的 50%，即 110V 时，且持续时间多于 Cyclength 设定的长度即出现 SAG。

4.4.25 过流检测阈值设置寄存器(0x71)

Over CurrentLevel (OVLv1)			Address: 71H				
	Bit15	14	13	12 ... 3	2	1	Bit0
Read:	OILv15	OILv14	OILv13	OILv12...OILv3	OILv2	OILv1	OILv0
Write:							
Reset:	0	0	0	0	0	0	0

过流检测阈值是根据校正后的电流峰值进行设定的。

公式为： $OILv1 = I_{max} * 2^5 * 1.414 * N * D$

OILv1——检测阈值

I_{max}——表示校正后的最大电流有效值

D——表示过流检测电流百分比

例如：

校正后的最大电流值 I_{max} 为 60A，检测电压百分比 D 为 150%，电流有效值计算公式中的 N=6, 则检测阈值寄存器的参数为 $60 * 2^5 * 1.414 * 6 * 150\% = 0x5F71$ 。也就是说将 0x5F71 设定到检测阈值寄存器之后，当输入电流高于 90A 时，且持续时间多于 Cyclength 设定的长度即出现过流。

4.4.26 自动温度补偿相关寄存器(0x6B~0x6F)

4.4.26.1 Toffset校正寄存器(校表参数0x6B)

进行 TPS 一致性校正，使得 TPSData（计量参数 0x2A）值在常温（25 度）输出为 0x00。校正方式：直接读取 TPSData（计量参数 0x2A）在常温（25 度）输出值，直接写入 Toffset 校正寄存器(校表参数 0x6B)即可。

4.4.26.2 Tgain校正寄存器(0x6C)

用于补偿 TPS 的系数，不需要校正。

4.4.26.3 Vrefgain的补偿曲线系数TCcoeffA, TCcoeffB, TCcoeffC(0x6D~0x6F)

1) 考虑Vref和外围电阻（选用20ppm正温度系数电阻）因素时推荐系数：

0x6D=0xFF11; 0x6E=0x2B53; 0x6F=0xD483

2) 只补偿HT7136本身的Vref温度特性时推荐系数：0x6D=0xFF00; 0x6E=0x0DB8; 0x6F=0xD1DA

4.4.27 新增算法控制寄存器(0x70)

新增控制寄存器(w_EMCfg)					Address:0x70			
	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
Write								
Read								
Reset								
	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
Write	Chlchg_	ChlChg_	Hp f_sel	L pf4_sel	OSRSel	CTdetEn	IIR_En	CHLSel
Read	u	I						1
Reset	0	0	0	0	0	0	0	0
	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
Write	CHLSel	CFmod	EnHarm	QEnergy	Ymodsel	ISUMSe	VrefAot	ModSel
Read			onic	Sel		l	u_en	
Reset	0	0	0	0	0	0	0	0

位名称	描述
Bit00	ModSel: 在外部引脚 SEL=1 时，通过寄存器 ModSel 控制位进行工作模式选择。 ModSel =0 为三相四线制；ModSel =1 为三相三线制
Bit01	VrefAotu_en: 基准自动补偿使能 VrefAotu_en=1, 使用自动补偿, 此时内部计算的 allgain = Vrefgain, 来自内部计算值, 同时写入寄存器 VrefGain VrefAotu_en=0, 关闭自动补偿, 即内部计算的 allgain=Allgain (0x32, 来源于校表寄存器)
Bit02	ISUMSel: 电流矢量算法选择位, 公式详见 4.2.3 章节 ISUMSel=0, 采用算法 1; ISUMSel=1, 采用算法 2.

Bit03	Ymodsel: 角度算法选择位		
	计量参数地址	Ymodsel = 0 (老算法一)	Ymodsel = 1 (新算法二)
	0x26	YUaUb	YUa
	0x27	YUaUc	YUb
	0x28	YUbUc	YUc
	0x18	Pga	YIa
	0x19	Pgb	YIb
	0x1A	Pgc	YIc
Bit04	QEnergySel: 无功能量选择寄存器, QEnergySel=0, 选择全波无功; QEnergySel=1, 选择基波无功;		
Bit05	EnHarmonic:基波测量和谐波测量切换控制位 EnHarmonic=0, 选择基波测量, 用户需配置为 0。		
Bit06	CF 脉冲生成方式选择, CFmod = 0 时选择原有 14.4kHz 方式; CFmod = 1 时选择 450kHz 方式;		
Bit8~7 ChlSel[1..0]	夹角选择新算法时选择以哪路信号作为参考。		
	ChlSel1	ChlSel0	参考向量
	0	0	Ua
	0	1	Ub
	1	0	Uc
Bit09	=1 使能 IIR 滤波器; =0 bypass		
Bit10	CTdetEn:CT 二次侧检测功能使能, =0: 关闭 CT 二次侧检测功能, In 通道用于检测零线电流; =1: 开启 CT 二次侧检测功能, RevP 输出 14.4k 方波信号, In 通道用于 CT 二次侧检测。		
Bit11	=1 选择 OSR=128, =0 选择 OSR=64, 注:OSR128 不建议用户使用。		
Bit12	=1 二阶低通滤波器系数 9; =0 二阶低通滤波器系数 8		
Bit13	=1 高通滤波器系数 10; =0 高通滤波器系数 11		
Bit14	=1 Ia/Ic 互换; =0 正常次序		
Bit15	=1 Ua/Uc 互换; =0 正常次序		

4.4.28 新增算法控制寄存器2 (0x73)

新增控制寄存器 2 (w_ANACtrl2)					Address:0x73			
	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
Write	RESERED[15:8]							
Read								
Reset	0	0	0	0	0	0	0	0

	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
Write	RESERVED[7:0]							
Read								
Reset	0	0	0	0	0	0	0	0

请用户保持该寄存器为默认值。

4.4.29 新增加的模拟控制寄存器3 (0x74)

新增控制寄存器 3(w_ANACtrl3)					Address:0x74			
	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
Write								Ugain_sel
Read								
Reset								
	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
Write	ANSI_mode1	ANSI_mode0	Bak_clr_En	Zx_Sel1	Zx_Sel0	Zx_En	IRQmode	UlinSel
Read								
Reset	0	0	0	0	0	0	0	0

位名称	描述
Bit0	UlinSel 线电压计量源选择； 0：选择计量基波线电压 1：选择计量全波线电压
Bit1	IRQmode IRQ 输出模式选择； 0：输出电平方式； 1：输出脉冲方式(脉宽 64 Emuclk)
Bit2	Zx_En 过零输出使能； 0 关闭过零输出； 1 使能过零输出；
Bit4~3 Zx_Sel[1:0]	过零输出选择； 00：选择 A 相电压过零输出； 01：选择 B 相电压过零输出； 10：选择 C 相电压过零输出； 11：自动过零输出
Bit5	Bak_clr_En 备份电能寄存器读后清零使能； 0：读后不清零 1：读后清零
Bit7~6	ANSI_mode：选择不同电能算法； 00：原来的 3P3/3P4 计量； 01：Ub= -Ua-Uc； 10：Ub= -Ua； 11：Ua=Ua-Ub,Uc=Uc-Ub；
Bit8	Ugain_sel 选择 Ugain 是否影响功率校正； 0：不影响； 1：影响

注：自动过零判据：复位后选择 A 相作为过零输出，然后根据失压标志(0x2C 寄存器标志)进行判断选择哪一相作为过零输出，顺序为 A->C->B；即优先选择 A 相，其次 C 相，最后 B 相，当三相都处于失压状态，则输出高；

4.4.30 新增加的算法控制寄存器4 (0x75)

新增控制寄存器 4(w_DIGCfg4)					Address:0x75			
	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
Write								
Read								
Reset								
	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
Write	Inst_mo	Energy_	Flag_jud	Freq_sel	Avg_mo	alpf_en	reserved	reserved
Read	d	mod	ge		d			
Reset	0	0	0	0	0	0	0	0
	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
Write	reserved	reserved	CF3Cfg	CF3Cfg	CF2Cfg	CF2Cfg	CF1Cfg	CF1Cfg
Read			1	0	1	0	1	0
Reset	0	0	0	0	0	0	0	0

位名称	描述
Bit1~0 CF1Cfg[1:0]	CF1 脉冲输出口选择: 00 PF ; 01 QF; 10: SF; 11: FundPF;
Bit3~2 CF2Cfg[1:0]	CF2 脉冲输出口选择: 00 QF ; 01 SF; 10: FundPF; 11: PF;
Bit5~4 CF3Cfg[1:0]	CF3 脉冲输出口选择: 00 SF ; 01 FundPF; 10: PF; 11: QF;
Bit9~6	预留
Bit10	alpf_en 全通滤波器使能: 0: 关闭滤波器, bypass; 1: 打开滤波器;
Bit11	Avg_mod 有效值和功率的平均点数选择; 0: 720 点平均; 1: 单周波平均;
Bit12	Freq_sel 电网频率选择; 0: 50Hz 系统; 1: 60Hz 系统;
Bit13	Flag_judge 90 度判断选择 ; = 0: 不进行 90 度判断; = 1: 进行 90 度判断
Bit14	Energy_mod: 正反向电能计量模式选择; = 0: 正常电能计量模式; = 1: 正反向电能计量模式
Bit15	Inst_mod 能量数据源选择控制位: =0 采用瞬时功率 =1 采用平均功率 (推荐) 选择平均功率为能量数据源才能满足负载电流快速改变试验。

4.4.31 相位校正——移采样点 (0x76/77)

Phase Calibration Register		Address: 76~77H						
	Bit7	6	5	4	3	2	1	Bit0

Read:								
Write:								
Reset:	0	0	0	0	0	0	0	0

移采样点方式相位校正寄存器都是 8 位，其中 Ia/Ib/Ic 组成 76H，I0/Ub/Uc 组成 77H，具体的定义参见校表过程。

Femu 921.6K, OSR=64 时,

A 相 0.5L 初始误差为+err%，则计算 $err * 18.376$ ，转换为 16 进制，填入 76H 的 bit23~bit16；

A 相 0.5L 初始误差为-err%，则计算 $-err * 18.376 + 192$ ，转换为 16 进制，填入 76H 的 bit23~bit16；

B 相 0.5L 初始误差为+err%，则计算 $err * 18.376$ ，转换为 16 进制，填入 76H 的 bit15~bit8；

B 相 0.5L 初始误差为-err%，则计算 $-err * 18.376 + 192$ ，转换为 16 进制，填入 76H 的 bit15~bit8；

C 相 0.5L 初始误差为+err%，则计算 $err * 18.376$ ，转换为 16 进制，填入 76H 的 bit7~bit0；

C 相 0.5L 初始误差为-err%，则计算 $-err * 18.376 + 192$ ，转换为 16 进制，填入 76H 的 bit7~bit0；

Femu 1.8432M, OSR=64 时,

A 相 0.5L 初始误差为+err%，则计算 $err * 18.376 * 2$ ，转换为 16 进制，填入 76H 的 bit23~bit16；

A 相 0.5L 初始误差为-err%，则计算 $-err * 18.376 * 2 + 192$ ，转换为 16 进制，填入 76H 的 bit23~bit16；

B 相 0.5L 初始误差为+err%，则计算 $err * 18.376 * 2$ ，转换为 16 进制，填入 76H 的 bit15~bit8；

B 相 0.5L 初始误差为-err%，则计算 $-err * 18.376 * 2 + 192$ ，转换为 16 进制，填入 76H 的 bit15~bit8；

C 相 0.5L 初始误差为+err%，则计算 $err * 18.376 * 2$ ，转换为 16 进制，填入 76H 的 bit7~bit0；

C 相 0.5L 初始误差为-err%，则计算 $-err * 18.376 * 2 + 192$ ，转换为 16 进制，填入 76H 的 bit7~bit0；

5. 电气规格

5.1 电气参数

测试条件：Vcc=AVcc=3.3V，EMU 时钟选择 921.6kHz（默认），室温。

参数	最小值	典型值	最大值	单位	测试条件
电能计量参数					
有功电能测量误差		0.1		%	5000: 1
无功电能测量误差		0.1		%	5000: 1
电压有效值测量误差		0.1		%	500: 1
		0.5			5000: 1
电流有效值测量误差		0.1		%	500: 1
		0.5			5000: 1
ADC 参数					
输入电压范围			±710	mVp	有效值 500mV
直流输入阻抗		530		kΩ	
信噪比(SNR)		75		dB	
ADC 采样速率		28.8		kHz	EMU 时钟 1.8432MHz
		14.4			EMU 时钟 921.6kHz
带宽 (-3dB)		14.4		kHz	EMU 时钟 1.8432MHz
		7.2			EMU 时钟 921.6kHz
参考电压	1.17	1.195	1.22	V	
参考电压温度系数		±10	±15	ppm	
功耗					
EMU 时钟选择 921.6kHz		4.7		mA	7 路 ADC 全部打开 只开 3 路电流 ADC
		2.6			
EMU 时钟选择 1.8432MHz		7.0		mA	7 路 ADC 全部打开 只开 3 路电流 ADC
		4.5			
EMU 处于 Sleep 模式下		2		uA	
直流参数					
数字电源电压 Vcc	3.0	3.3	3.6	V	
模拟电源电压 AVcc	3.0	3.3	3.6	V	
脉冲口 CF 输出驱动电流		5	10	mA	
VOH(CF1~CF3\REVP)	0.9*Vcc			V	
VOL(CF1~CF3\REVP)			0.1*Vcc	V	
逻辑输入高电平	0.8*Vcc			V	
逻辑输入低电平			0.2*Vcc	V	
逻辑输出高电平	0.9*Vcc			V	
逻辑输出低电平			0.1*Vcc	V	
晶体		5.5296		MHz	
工作温度范围	-40		85	度	

存储温度范围	-65	150	度	
--------	-----	-----	---	--

6. 校表过程

在对 HT7136 设计的电表进行校正时，必须提供标准电能表。利用标准电能表校表时，有功能量脉冲输出 CF1 可以直接连接到标准表上去，然后根据标准电能表的误差读数对 HT7136 进行校正，HT7136 只需要对有功功率进行校正即可，无功功率增益校正寄存器写入和有功功率增益校正相同的系数即可。对于视在表的校正参加后面说明。

校表流程：

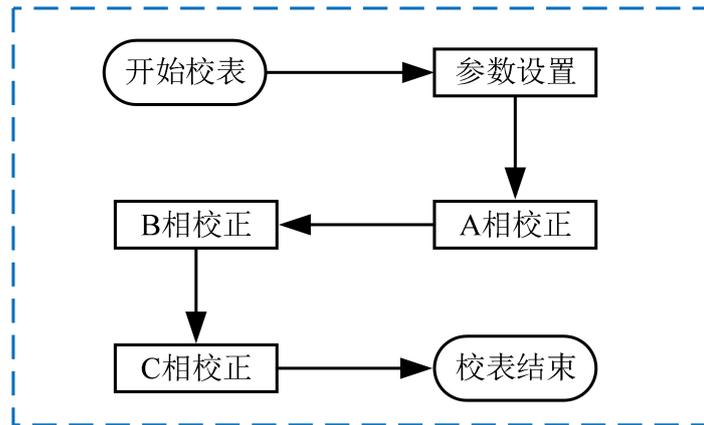


图 6-1 校表流程

参数设置：

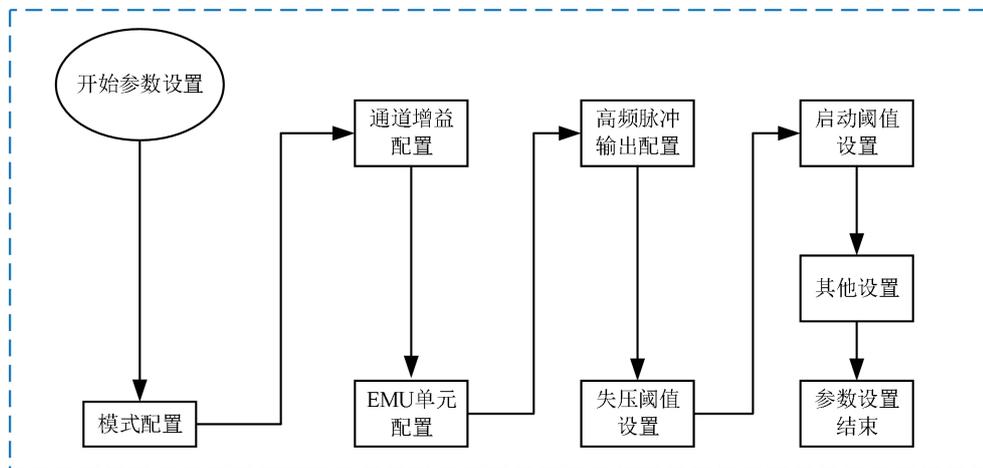


图 6-2 参数设置过程

分相校正：

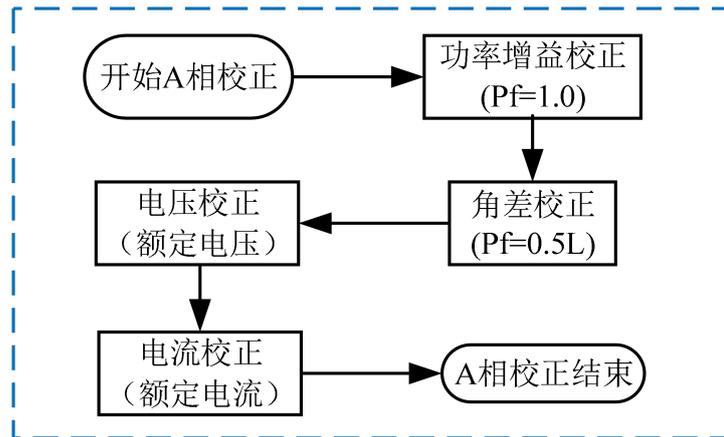


图 6-3 A 相校正流程

校表及推荐

- 1) 模式配置寄存器(0x01)写入: **0xB97E**。开启 Vref Chopper 功能提升 Vref 性能; 开启功率有效值慢速模式, 减小跳动; 配置 EMU 时钟 921.6kHz, 降低功耗; 开启 6 路 ADC, 关闭 In 通道。
- 2) EMU 单元配置寄存器(0x03)写入: **0xF804**。开启能量计量, 使用功率作为潜动起动依据, 关闭基波功能, 视在功率能量选择 PQS 方式。
- 3) 模拟模块使能寄存器(0x31)写入: **0x3427**, 开启高通滤波器; 开启 BOR 电源监测电路。
- 4) 写入 HFconst 参数(同一款表写入同样的 HFconst 值)

方式 1: 根据输入信号电压计算

$$\text{HFConst} = \text{INT}[2592000000 * G * G * V_u * V_i / (\text{EC} * U_n * I_b)]$$

其中 $G=1.163$, INT 为取整计算

举例说明:

电表表常数 (EC) 设置为 6400, 功率因数为 1。

U_n (额定电压) 为 220V, I_b (额定电流) 为 1.5A, V_u (电压通道的电压) 为 0.22V

V_i (电流通道的电压) 为 50mV

根据公式: $\text{HFConst} = 2.592 * V_u * V_i * 10^{10} * 1.163 * 1.163 / (\text{EC} * U_n * I_b)$ 计算得到

$$\text{HFConst} = 2.592 * 0.22 * 0.05 * 10^{10} * 1.163 * 1.163 / (6400 * 220 * 1.5) = 0x00B6$$

方式 2: 根据误差调整 HFconst

比如, HFconst 写入初值 0x0080, 从标准表上读到误差为 err%, 则按照公式将误差调整到±10%以内:

$$\text{HFconst} = 0x0080 * (1 + \text{err}\%)$$

举例说明：

电表表常数（EC）设置为 6400，功率因数为 1，HFCONST 寄存器写入值 0x0080，观察标准表上显示的误差为 52.8%。

根据公式：HFCONST = 0x0080 * (1+Err)

计算得到：HFCONST = 0x0080 * (1+52.8%) = 0x00C3

5) 功率增益校正

根据功率增益校正寄存器说明计算，注意 Pgain\Qgain\Sgain 写入相同值即可。

6) 相位校正

参见校正寄存器说明。

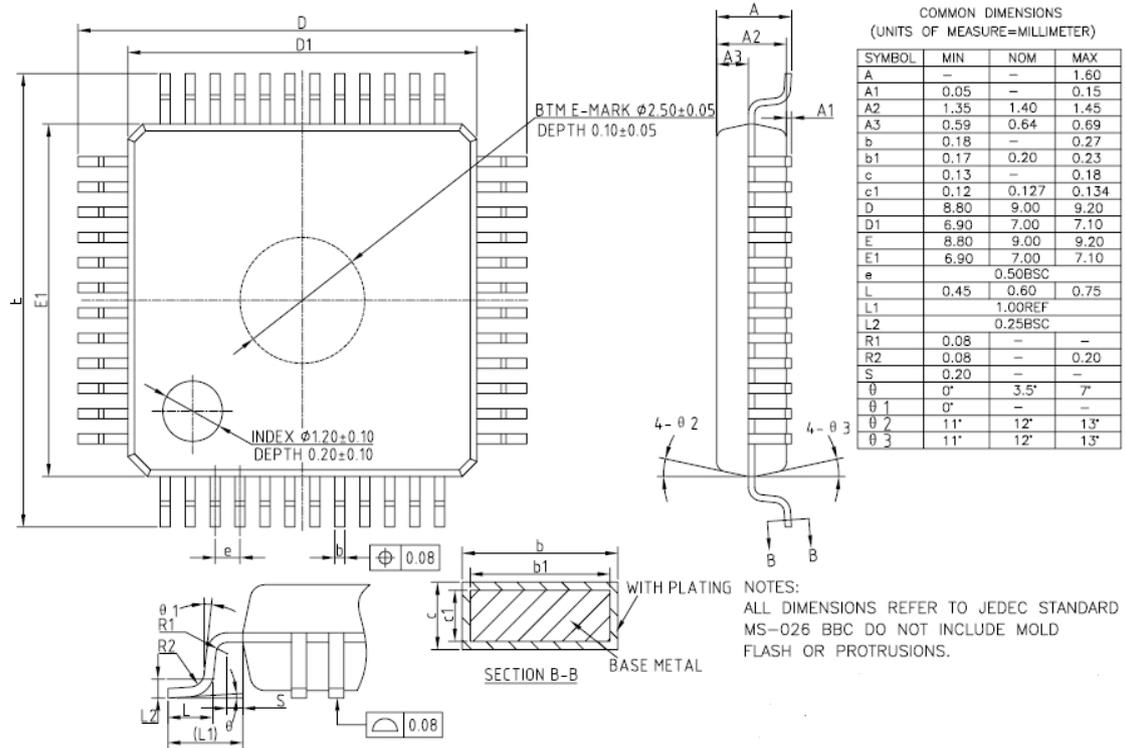
7) 电压、电流有效值校正

参见校正寄存器说明。

7. 芯片信息

7.1 芯片封装

HT7136: 封装 LQFP48



8. 典型应用

8.1 从采样数据得到 FFT 的推荐流程

- 1) 开启采样功能（0xC0 命令：通道选择+启动）；
- 2) 固定延时等待采样数据完成；
- 3) 设置用户读指针的起始地址（通过 0xC1 命令），读取采样数据(0x7F 地址)；
- 4) 对数据进行预处理；
- 5) 进行 FFT 变换；
- 6) 如需下一次操作，则执行 step1~5。

8.2 同步缓冲数据分次谐波分析推荐流程

- 7) 开启同步采样功能（0xC5 命令：选择自动同步或者手动同步+启动命令）；
- 8) 等待采样数据完成（延时等待 buffer 区存满或者查询 0x7E 写指针）；
- 9) 读取采样数据（0x7F 缓冲数据读取地址）；
- 10) 对数据进行抽取，每隔 7 个数据抽一个按顺序组成 Ua、Ub、Uc、Ia、Ib、Ic、In
- 11) FFT 变换；
- 12) 对数据进行增益系数调整。各 0~21 次谐波分次谐波增益系数为：

```
[  
    1.000000000000000  
    1.000000000000000  
    1.00362187060665  
    1.00969162604172  
    1.01825901332331  
    1.02939520355364  
    1.04319331488342  
    1.05977378492696  
    1.07927443401769  
    1.10187021533519  
    1.12776405100967  
    1.15718387269867  
    1.19042304659018  
    1.22777858879375  
    1.26962990669109  
    1.31639900106378  
    1.36856044411429  
    1.42671649331348  
    1.49149037623292  
    1.56363705732262  
    1.64398947583697  
    1.73366802372421  
]
```

- 13) 如需下一次操作，先关闭同步采样功能（0xC5 写 0），再则执行 step1~6。