

ATT7026E 用户手册

Rev1.0

Tel: 021-51035886

Fax: 021-50277833

Email: sales@hitrendtech.com

Web: <http://www.hitrendtech.com>

目 录

1. 芯片特性	5
2. 引脚定义	7
2.1. PIN脚封装图	7
2.2. PIN脚功能说明	7
2.3. 应用示意图	9
3. ATT7026E各模块描述.....	10
3.1. 电源检测电路	10
3.2. 系统复位	10
3.3. ADC数模转换	11
3.4. 有功功率测量	12
3.5. 有功能量测量	12
3.6. 无功功率测量	13
3.7. 无功能量测量	13
3.8. 视在功率测量	13
3.9. 视在能量测量	14
3.10. 电压有效值测量	15
3.11. 电流有效值测量	15
3.12. 电压线频率测量	16
3.13. 功率因数测量	16
3.14. 电压电流相角测量	16
3.15. 电压夹角测量	16
3.16. 电压相序检测	16
3.17. 电流相序检测	17
3.18. 起动潜动设置	17
3.19. 功率方向判断	17
3.20. 失压检测	17
3.21. 硬件端口检测	18
3.22. 片上温度检测	18
3.23. 三相三线与三相四线应用	18
3.24. 能量脉冲输出	19
4. SPI通讯接口	21
4.1. SPI通讯接口介绍	21
4.2. SPI读操作	22
4.3. SPI写操作	23
4.4. SPI写特殊命令字操作	24
5. 寄存器功能	26
5.1. 计量参数寄存器列表	26
5.2. 计量参数寄存器说明	28
5.2.1. 功率寄存器（地址：0x01~0x0C）	28
5.2.2. 有效值寄存器（地址：0x0D~0x013、0x29、0x2B）	29
5.2.3. 功率因数寄存器（地址：0x14~0x017）	30

5.2.4.	功率角和电压夹角寄存器 (地址: 0x18~0x1A、0x26~0x28)	30
5.2.5.	线频率寄存器 (地址: 0x1C)	31
5.2.6.	温度传感器数据寄存器 (地址: 0x2A)	31
5.2.7.	能量寄存器 (地址: 0x1E~0x25, 0x35~0x38, 0x44~0x47)	32
5.2.8.	快速脉冲计数寄存器 (地址: 0x39~0x3C)	33
5.2.9.	标志状态寄存器 (地址: 0x2C)	33
5.2.10.	电能寄存器工作状态寄存器 (地址: 0x1D)	34
5.2.11.	功率方向寄存器 (地址: 0x3D)	35
5.2.12.	中断标志寄存器 (地址: 0x1B)	35
5.2.13.	ADC采样数据寄存器 (地址: 0x2F~0x34, 0x3F)	36
5.2.14.	校表数据校验和寄存器 (地址: 0x3E)	36
5.2.15.	通讯数据备份寄存器 (地址: 0x2D)	37
5.2.16.	通讯校验和寄存器 (地址: 0x2E)	37
5.3.	表参数寄存器列表	38
5.4.	校表参数寄存器说明	39
5.4.1.	模式配置寄存器 (地址: 0x01)	39
5.4.2.	ADC增益配置寄存器 (地址: 0x02)	40
5.4.3.	EMU单元配置 (地址: 0x03)	41
5.4.4.	功率增益补偿寄存器(地址: 0x04~0x0C)	42
5.4.5.	相位校正寄存器(地址: 0x00D~0x12)	42
5.4.6.	功率offset校正 (地址: 0x13~0x15, 0x21~0x23)	43
5.4.7.	无功相位校正寄存器(地址: 0x16)	43
5.4.8.	电压增益校正寄存器(地址: 0x17~0x19)	44
5.4.9.	电流增益校正寄存器(地址: 0x1A~0x1C, 0x20)	44
5.4.10.	起动电流设置寄存器 (地址: 0x1D)	45
5.4.11.	高频脉冲常数设置(地址: 0x1E)	45
5.4.12.	失压阈值设置寄存器(地址: 0x1F)	46
5.4.13.	有效值offset校正 (地址: 0x24~0x29)	46
5.4.14.	ADC offset校正 (地址: 0x2A~0x2F)	47
5.4.15.	中断使能寄存器 (地址: 0x30)	47
5.4.16.	模拟模块使能寄存器 (地址: 0x31)	48
5.4.17.	全通道增益寄存器 (地址: 0x32)	48
5.4.18.	脉冲加倍寄存器 (地址: 0x33)	49
5.4.19.	IO状态配置寄存器 (地址: 0x35)	49
5.4.20.	起动功率寄存器 (地址: 0x36)	50
5.4.21.	相位补偿区域设置寄存器(地址: 0x37)	50
5.5.	推荐校表过程	50
5.5.1.	校表及推荐	52
6.	电气特性	55
6.1.	电气参数	55
6.2.	芯片封装	56

1. 芯片特性

Feature:

- 高精度，在输入动态工作范围（3000: 1）内，非线性测量误差小于 0.1%
- 有功测量满足 0.2S、0.5S，支持 IEC62053-22，GB/T17883-1998
- 无功测量满足 1 级、2 级，支持 IEC62053-23，GB/T17882-1999
- 提供 RMS/PQS 两种视在功率、能量计量（可选）
- 提供有功、无功、视在功率/电能及 CF 脉冲输出
- 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，有效值精度优于 0.1%
- 提供三相电压矢量和、电流矢量和之有效值输出
- 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
- 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
- 起动电流可调
- 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
- 具有 SPI 通信接口，速率可达 10Mbps
- 内置温度测量传感器
- 适用三相三线和三相四线模式
- 片内参考电压，也可以外接参考电压
- 支持 ROSI 线圈
- 提供脉冲加倍功能，便于小信号校表
- 采用 LQFP44 封装
- 3.3V 供电
- 晶体 5.5296MHz

ATT7026E 是一颗多功能高精度的三相电能专用计量芯片，适用于三相三线和三相四线应用。

ATT7026E 集成了 6 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。

ATT7026E 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。详细校表方法请参阅校表方法部分。

ATT7026E 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，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。

ATT7026E 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。

ATT7026E 内置电压监测电路可以保证上电和断电时正常工作

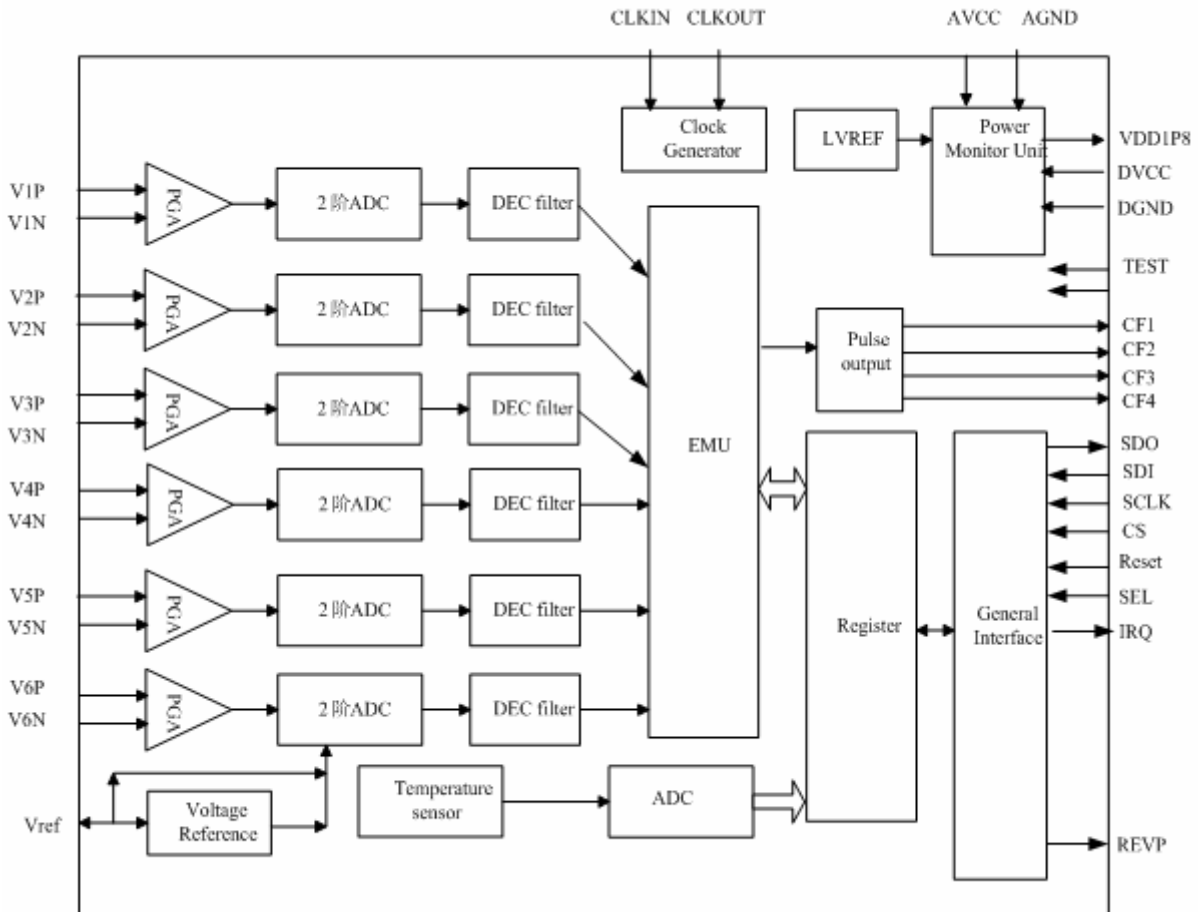
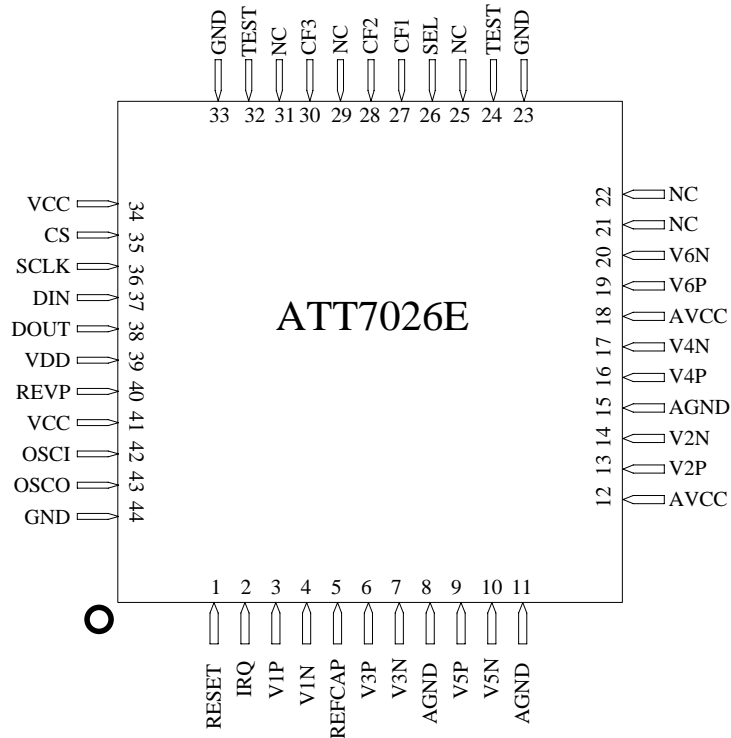


图 1-1 芯片整体框图

2. 引脚定义

2.1. PIN 脚封装图

ATT7026E 采用 LQFP44 封装形式：44Pin LQFP(10x10)



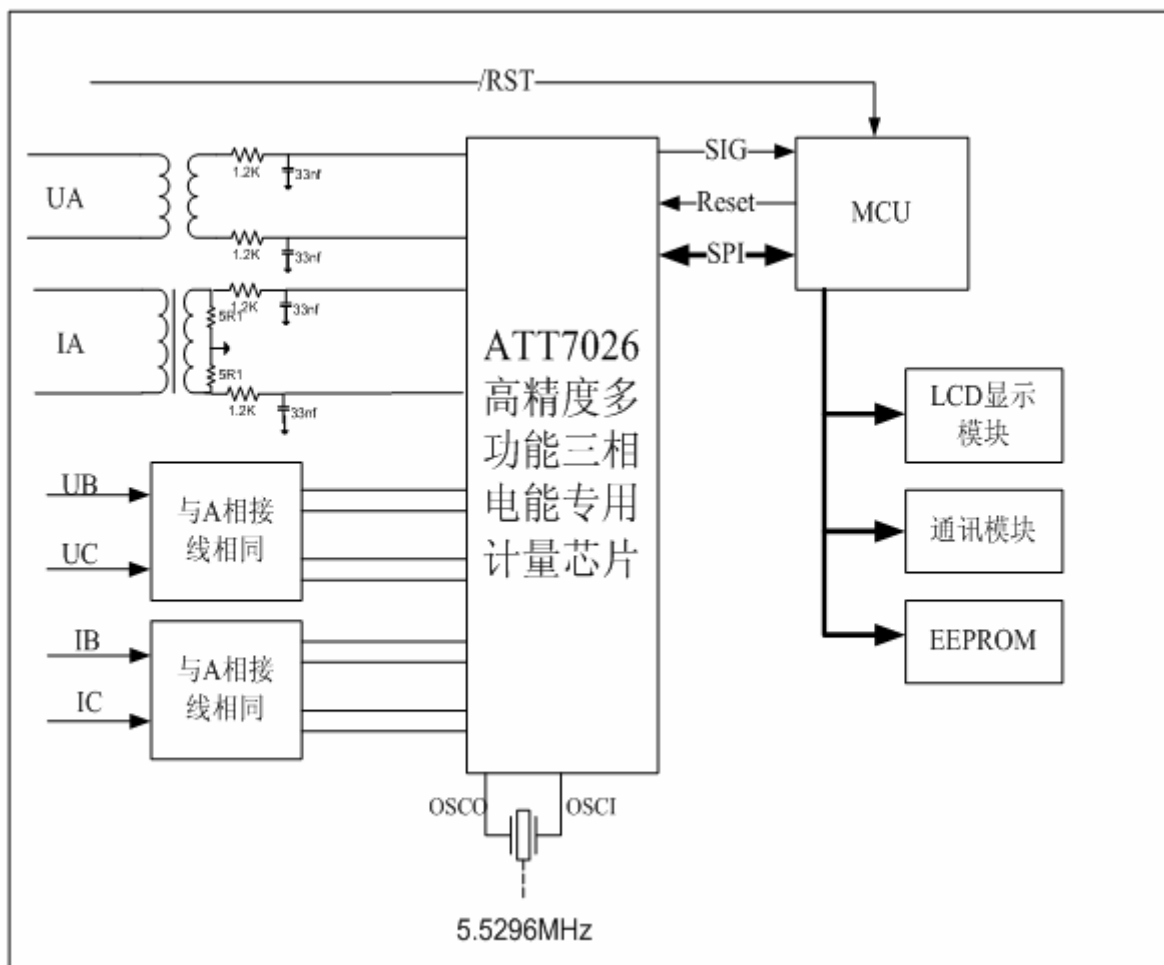
2.2. PIN 脚功能说明

ATT7026E	PIN 名字	特性	PIN 说明
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（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 $\pm 0.7V_p$ ，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 $10\mu F$ 钽电容并联 $0.1\mu F$ 瓷介质电容进行去耦。

6, 7	V3P/V3N	输入	通道 3（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 $\pm 0.7V_p$ ，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, 15	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（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 $\pm 0.7V_p$ ，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, 18	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。
13, 14	V2P/V2N	输入	通道 2（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 $\pm 0.7V_p$ ，两个引脚内部都有 ESD 保护电路。
16, 17	V4P/V4N	输入	通道 4（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 $\pm 0.7V_p$ ，两个引脚内部都有 ESD 保护电路。
19, 20	V6P/V6N	输入	通道 6（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 $\pm 0.7V_p$ ，两个引脚内部都有 ESD 保护电路。
21, 22	NC	——	
23, 33, 44	GND	参考地	数字地引脚
24, 32	TEST	输入	测试管脚，应用时请务必接地。
25, 29	NC	——	不连接。
26	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。
27	CF1	输出	频率校验输出，用于有功功率的校验；也可以用来做有功电能计量。
28	CF2	输出	频率校验输出，用于无功功率的校验；也可以用来做无功电能计量。
30	CF3	输出	频率校验输出，用于视在功率的校验；也可以用来做视在电能计量。
31	NC	——	
34, 41	VCC	电源	数字电源引脚；正常工作电源电压应保持在 $3.3V \pm 5\%$ ，该引脚应使用 $10\mu F$ 电容并联 $100nF$ 瓷介电容进行去耦。
35	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。
36	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。

37	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。
38	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。
39	VDD	电源	数字电源 1.8V 输出。外接 10 μ F 钽电容并联 100nF 瓷介质电容进行去耦。
40	REVP	输出	逻辑输出，任意相功率为负时输出高电平；当再次检测到三相都为正功率时，该引脚的输出为低。
42	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。
43	OSCO	输出	晶振的输出端。

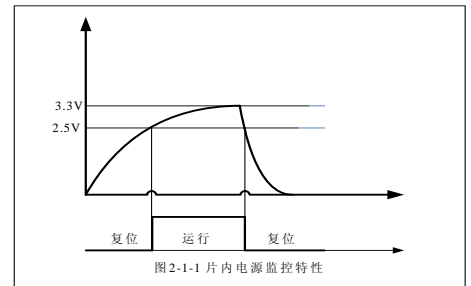
2.3. 应用示意图



3. ATT7026E 各模块描述

3.1. 电源检测电路

ATT7026E 片内包含一套电源监控电路，连续对模拟电源(AVCC)进行监控。当电源电压低于 $2.5V \pm 5\%$ 时，芯片将被复位。这有利于电路上电和掉电时芯片的正确启动和正常工作电源监控电路被安排在延时和滤波环节中，这在最大程度上防止了由电源噪声引发的错误，如图 2-1 所示。为保证芯片正常工作应对电源去耦，使 AVCC 的波动不超过 $3.3V \pm 5\%$ 。



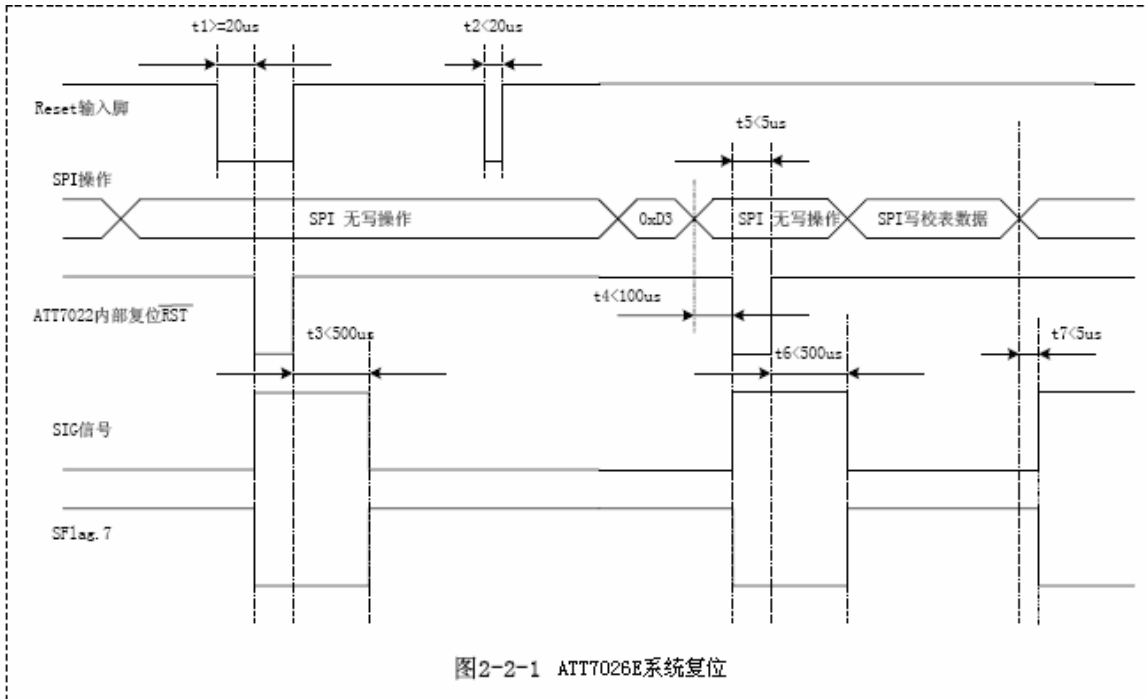
3.2. 系统复位

ATT7026E 提供两种复位方位：硬件复位和软件复位。

硬件复位通过外部引脚 RESET 完成，RRSET 引脚内部有 47K 上拉电阻，所以正常工作时为高电平，当 RESET 出现大于 20us 的低电平时，ATT7026E 进入复位状态，当 RESET 变为高电平时 ATT7026E 将从复位状态进入正常工作状态。

软件复位通过 SPI 接口完成，当往 SPI 口写入 0xD3 命令后，系统就进行一次复位，复位之后 ATT7026E 从初始状态开始运行。

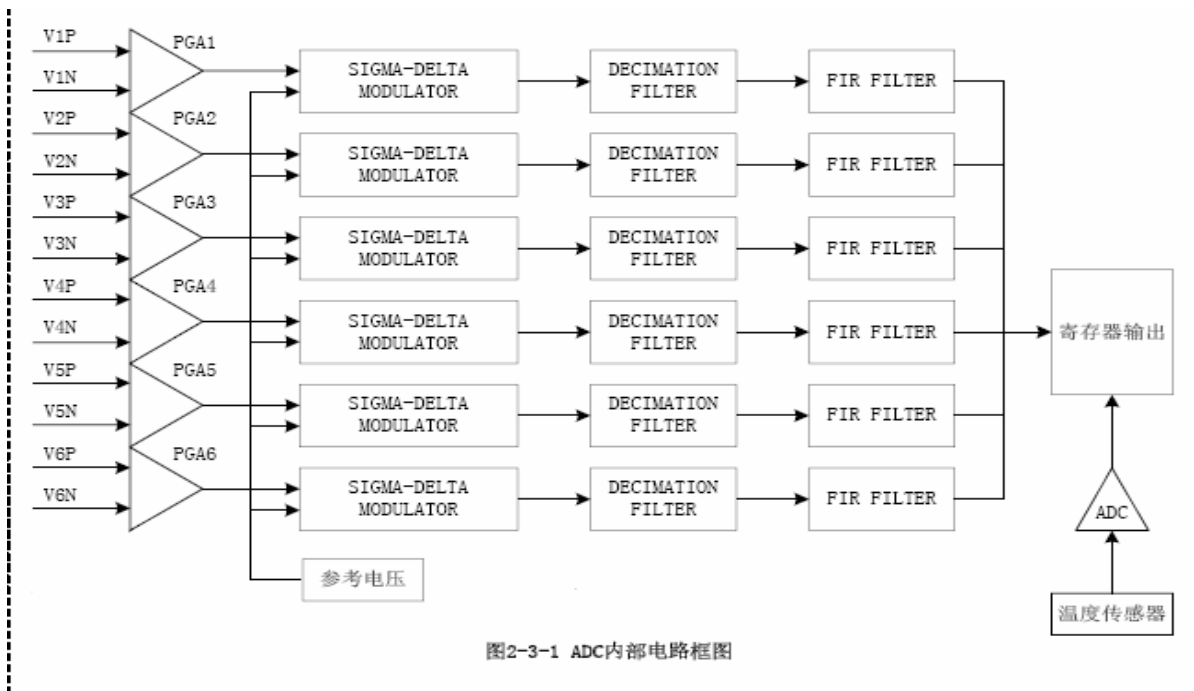
ATT7026E 在复位状态下 SIG 信号为高电平，当 ATT7026E 从复位到工作状态之后，大约经过 500us 左右，SIG 将从高电平变为低电平，此时芯片开始进入正常工作状态，方可写入校表数据，一旦写入校表数据之后，SIG 又会立刻变为高电平。



3.3. ADC 数模转换

ATT7026E 片内集成了 7 路 19 位的 ADC，采用双端差分信号输入，输入最大的正弦信号有效值是 0.5V，建议将电压通道 U_n 对应到 ADC 的输入选在有效值 0.22V 左右 而电流通道 I_b 时的 ADC 输入选在有效值 0.05V 左右。参考电压 Ref_{cap} 典型值是 1.2V。

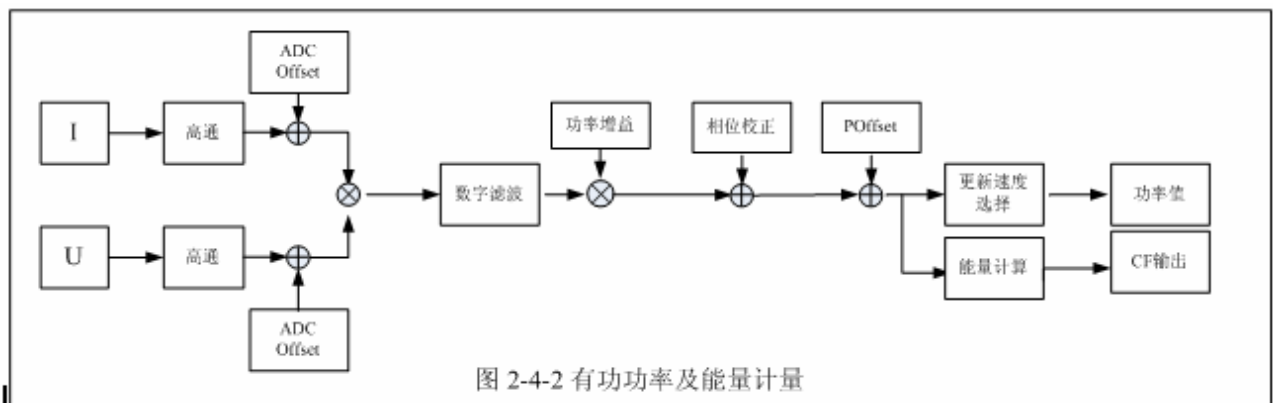
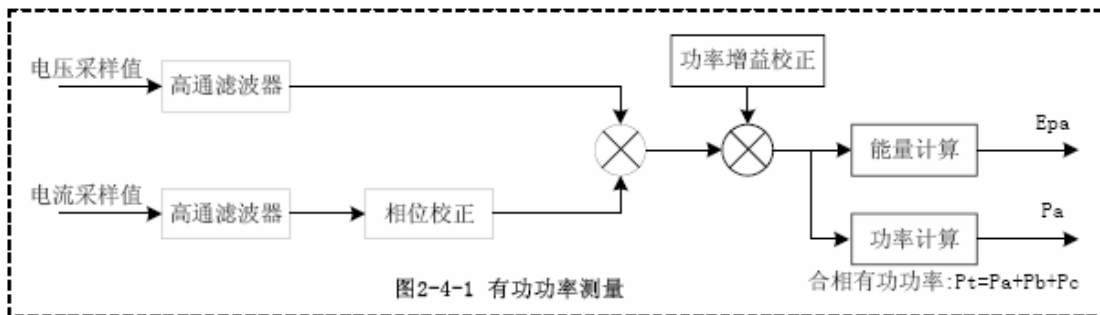
ATT7026E 内部 ADC 系统框图：



3.4. 有功功率测量

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 $P_t = P_a + P_b + P_c$ 。



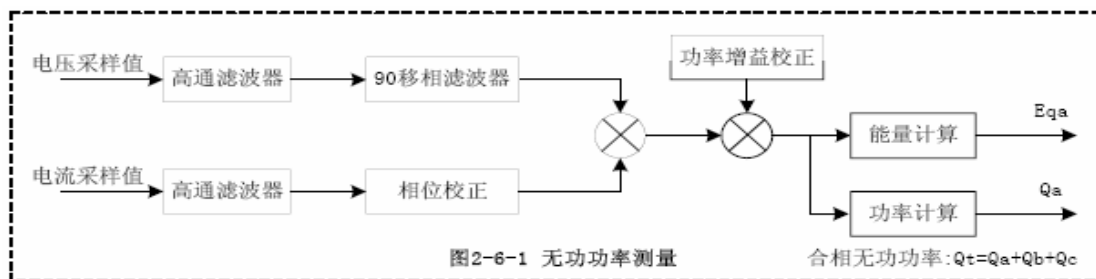
3.5. 有功能量测量

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。



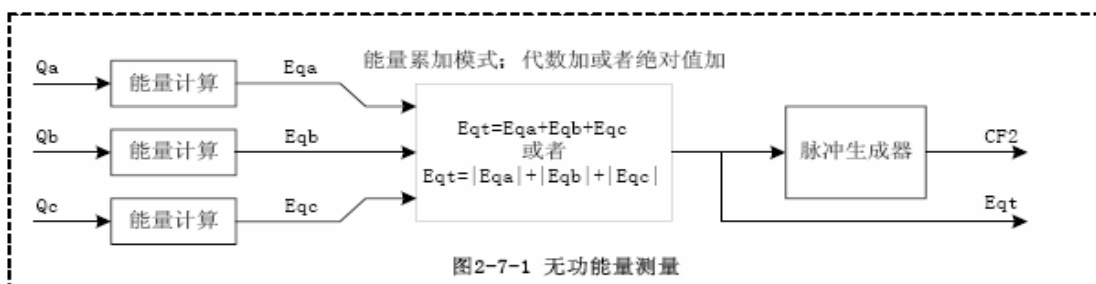
3.6. 无功功率测量

根据真无功功率（正弦式无功功率）定义公式，无功功率 $Q = \sum_{n=1}^{\infty} (U_n I_n \cdot \sin(\varphi))$ ，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，ATT7026E 无功功率的测量带宽也可高达 41 次谐波。



3.7. 无功能量测量

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。



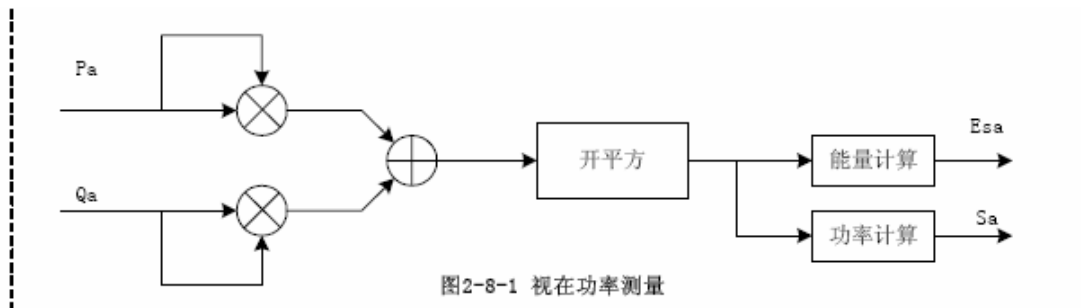
3.8. 视在功率测量

视在功率有两类计算公式：

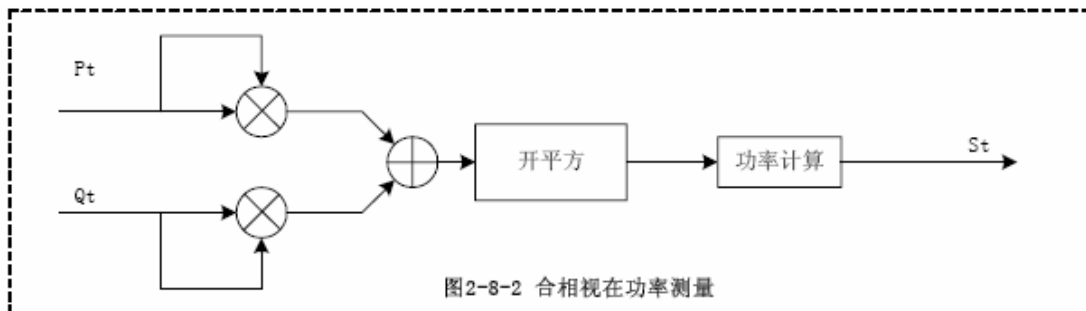
PQS 视在功率公式一： $S = \sqrt{P^2 + Q^2}$

RMS 视在功率公式二： $S = U_{rms} * I_{rms}$

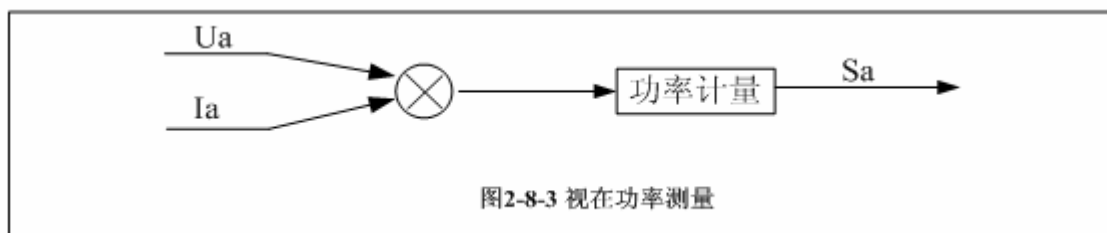
ATT7026E 提供 2 类计算方式，用户可通过寄存器配置选择使用任意一种计算公式。其中采用 PQS 视在功率公式一实现的视在功率值。如下图所示。



关于合相视在功率，ATT7026E 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。



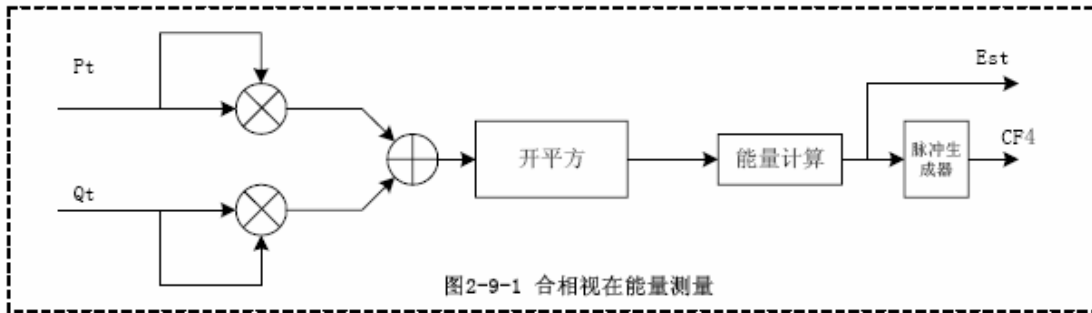
根据 RMS 视在功率公式二实现的视在功率值，如下图所示。



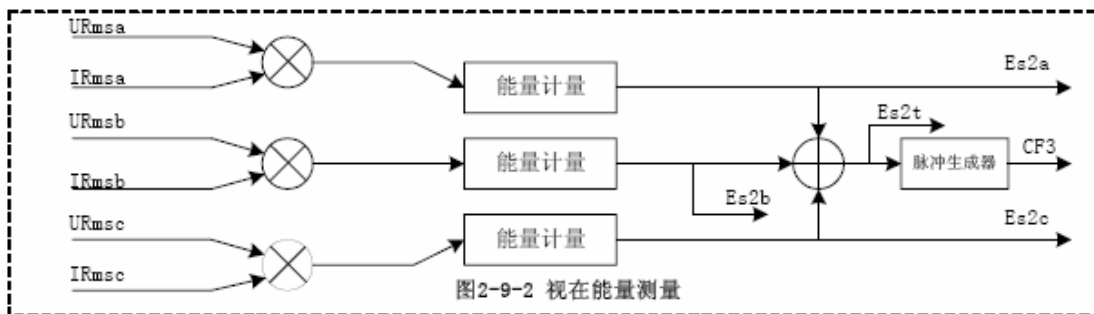
3.9. 视在能量测量

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 ATT7026E 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。

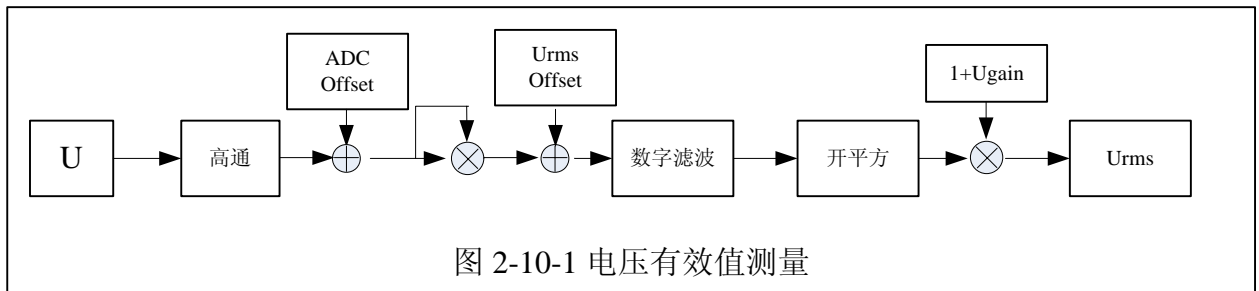


按照公式 $S_T = U_{ra} * I_{ra} + U_{rb} * I_{rb} + U_{rc} * I_{rc}$ 计算 RMS 视在能量，如下图所示。



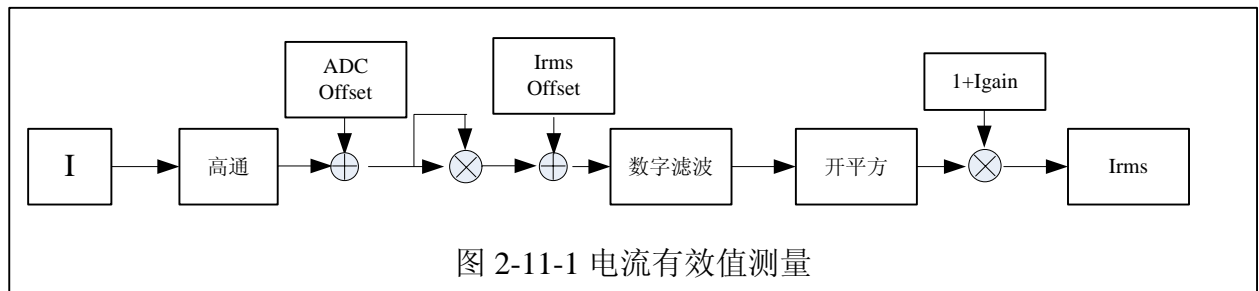
3.10. 电压有效值测量

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。电压通道输入有效值 500mV 到 1mV 的信号时电压有效值的误差小于 0.2%。



3.11. 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。电压通道输入有效值 500mV 到 1mV 的信号时电流有效值的误差小于 0.2%。



3.12. 电压线频率测量

ATT7026E 可以直接输出电压频率参数，ATT7026E 可以自动选择 A/B/C 三相中的任意一相电压为电压频率测量的基准，新增加了稳定过零点的低通滤波，有效减小噪声和谐波的干扰影响，可更准确更可靠地测量电压线频率，精度达 0.01Hz。

3.13. 功率因数测量

$$Pf = \frac{abs(P)}{abs(S)}$$

功率因素计算公式：

3.14. 电压电流相角测量

ATT7026E 提供相角检测功能， φ 表示为 $\pm 180^\circ$ 。

3.15. 电压夹角测量

ATT7026E 电压夹角测量精度为 0.1 度，提供三个寄存器 YUaUb、YUaUc、YUbUc 分别表示 AB/AC/BC 电压的夹角，范围为 0~360 度。数据更新时间为 3Hz 左右。

3.16. 电压相序检测

ATT7026E 提供电压的相序检测功能，三相四线和三相三线模式的电压相序检测依据不完全一样。三相四线模式下电压相序检测按照 A/B/C 三相电压的过零点顺序进行判断，电压相序正确的依据：当 A 相电压过零之后，B 相电压过零，然后才是 C 相电压过零，否则电压错序。另外，只要当 A/B/C

三相电压中任何一相没有电压输入时，ATT7026E 也认为是电压错序。

三相三线模式下电压相序检测按照 A 相电压与 C 相电压的夹角进行判断：当 A 相与 C 相的电压夹角在 300 度左右时，才认为电压相序正常，否则判断电压出现错序。

3.17. 电流相序检测

ATT7026E 提供电流相序检测功能，电流相序检测按照 A/B/C 三相电流的过零点顺序进行判断，电流相序正确的依据：当 A 相电流过零之后，B 相电流过零，然后才是 C 相电流过零，否则电流错序。

另外，只要当 A/B/C 三相电流中任何一相电流丢失，ATT7026E 也认为是电流错序。

三相三线模式下电流相序检测按照 A 相电流与 C 相电流的夹角进行判断：当 A 相与 C 相的电流夹角在 120 度左右时，才认为电流相序正常，否则判断电流出现错序。

3.18. 起动潜动设置

ATT7026E 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 ATT7026E 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启动阈值时，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启动功率阈值实现起动与潜动，当 ATT7026E 检测到某相有功功率或无功功率大于启动功率阈值，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启动功率阈值，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。

3.19. 功率方向判断

ATT7026E 实时提供功率方向指示，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。

3.20. 失压检测

ATT7026E 可以根据设定的阈值电压对 A/B/C 三相电压是否失压进行判断。阈值电压可以通过失

压阈值设置寄存器 FailVoltage 进行设定。ATT7026E 上电复位后失压阈值设置会根据当前选择的工作模式（三相三线/三相四线）默认设置为不同的参数。在没有对电压有效值进行校正时三相四线模式的失压阈值对应电压通道输入 50mV 左右，而三相三线模式的失压阈值对应电压通道输入 150mV 左右。如果对电压有效值进行了校正，则必须重新设定失压阈值设置寄存器 FailVoltage，设置方法参考失压阈值设定部分。

3.21. 硬件端口检测

ATT7026E 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启动，ATT7026E 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。

3.22. 片上温度检测

ATT7026E 内建温度传感器，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。

3.23. 三相三线与三相四线应用

ATT7026E 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 ATT7026E 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：

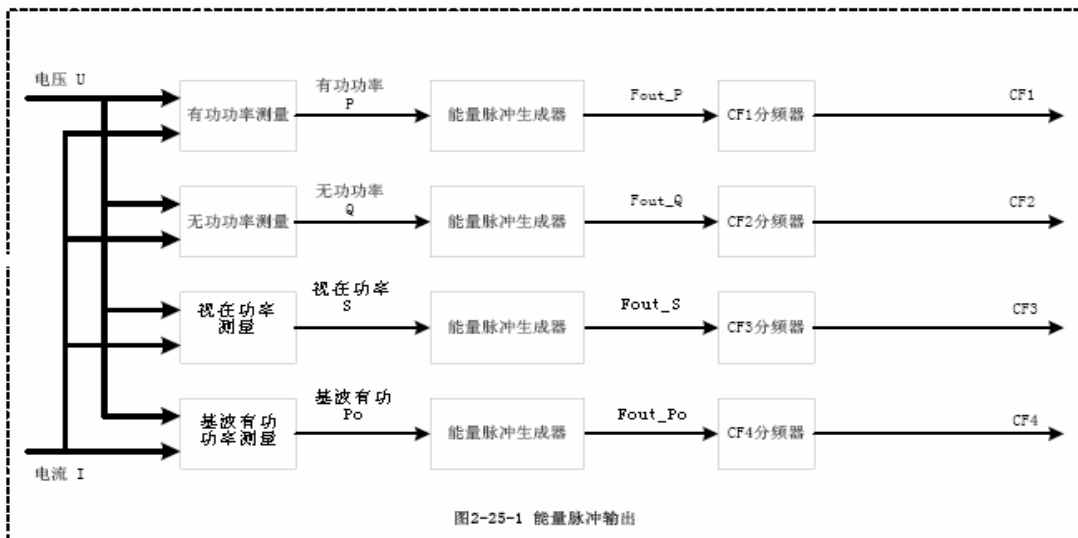
$$P_3 = \dot{U}_{AB} \dot{I}_A + \dot{U}_{CB} \dot{I}_C$$
$$Q_3 = \dot{U}_{AB} \dot{I}_A \angle 90^\circ + \dot{U}_{CB} \dot{I}_C \angle 90^\circ$$
$$S_3 = \sqrt{P_3^2 + Q_3^2}$$

在三相三线模式下 ATT7026E 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 ATT7026E 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。

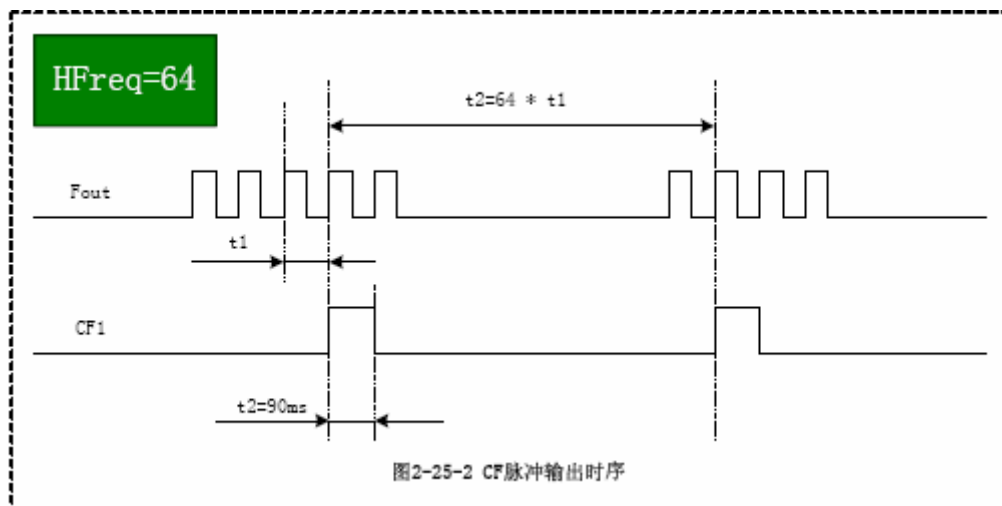
3.24. 能量脉冲输出

ATT7026E 提供 3 个高频脉冲输出 CF1/CF2/CF3, 分别对应全波有功电能、全波无功电能和全波视在电能。



电压、电流信号经过变换后在功率测量信号处理电路中相乘得到瞬时功率,对时间积分后成为电能信号,根据设置将 A/B/C 三相电能做绝对值相加或代数值相加运算,并将结果变换成频率信号,然后按照用户设定的分频系数进行分频,得到可用于校表的电能脉冲输出信号。

下图是高频输出常数为 64 时的分频示意图,电能脉冲输出的脉宽为 90 毫秒,当脉冲周期小于 180 毫秒时,电能脉冲以占空比为 1:1 的等宽脉冲输出。



4. SPI 通讯接口

4.1. SPI 通讯接口介绍

ATT7026E 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/DOUT。

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。

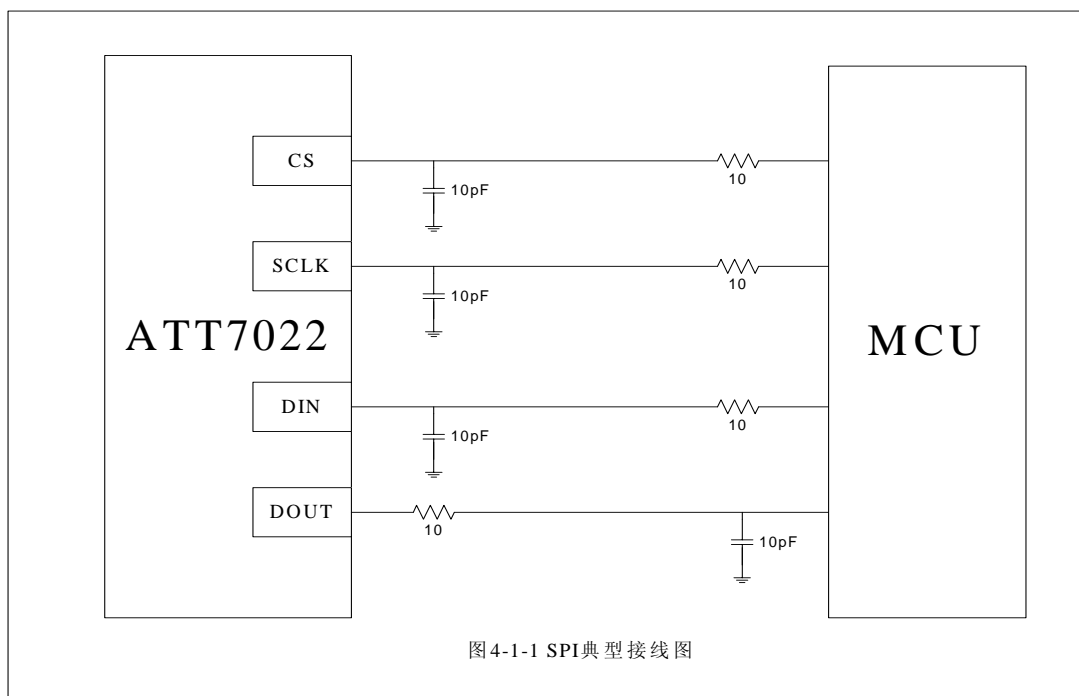
DIN: 串行数据输入(INPUT)，用于把数据传输到 ATT7026E 中。

DOUT: 串行数据输出(OUTPUT)，用于从 ATT7026E 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 ATT7026E 寄存器中的数据放置于 DOUT 上输出，SCLK 下降沿时将 DIN 上的数据采样到 ATT7026E 中,MSB 在前，LSB 在后。

ATT7052SPI 通讯接口采用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。

ATT7026E 与外部 MCU 的 SPI 通讯接口典型接线如图所示：



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 接口信号上的任何振荡，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，要根据 SPI 通讯速率以及外部 MCU 的信号进行分析，并需要作些相关的实验，以确定电阻、电容值是否适合。

4.2. SPI 读操作

ATT7026E 的计量参数及校表参数寄存器是通过 SPI 提供给外部 MCU 的。

SPI 读时序图：

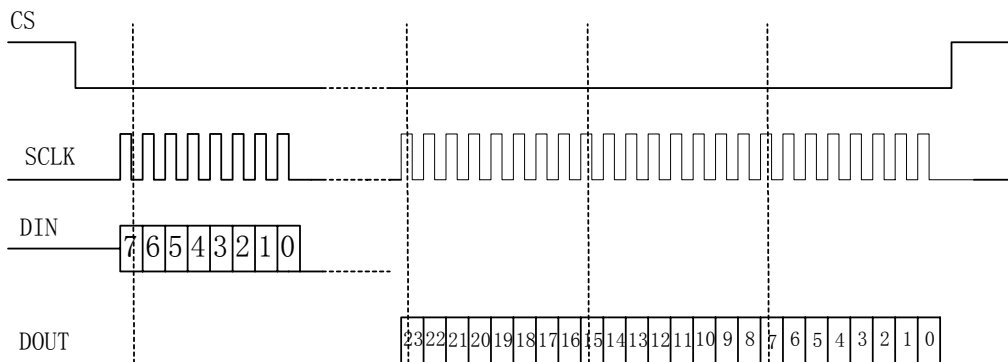


图 4-2-1 读操作时序

ATT7026E 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 ATT7026E 寄存器数据

Bit6...0: 表示寄存器地址，参照寄存器定义部分

SPI 读操作示例：

```

01 | ReadSpi (Byte Com)                               15 | delay (3);
02 | {                                                16 |   ; Read 24-bits Data From SPI
03 |   ; Enable SPI                                  17 |   for (n=23, Data=0; n>=0; n--)
04 |   CS=1;                                         18 |   {
05 |   SCLK=0;                                       19 |     SCLK=1;
06 |   CS=0;                                         20 |     Data. n=DOUT;
07 |   ; Send 8-bits Command to SPI                 21 |     SCLK=0;
08 |   for (n=7; n>=0; n--)                          22 |   }
09 |   {                                             23 |   ; Disable SPI
10 |     SCLK=1;                                       24 |   CS=1;
11 |     DIN=Com. n;                                    25 |   ; Return Data From SPI
12 |     SCLK=0;                                       26 |   return (Data);
13 |   }                                              27 | }
14 | ; waiting 3us                                    28 |

```

4.3. SPI 写操作

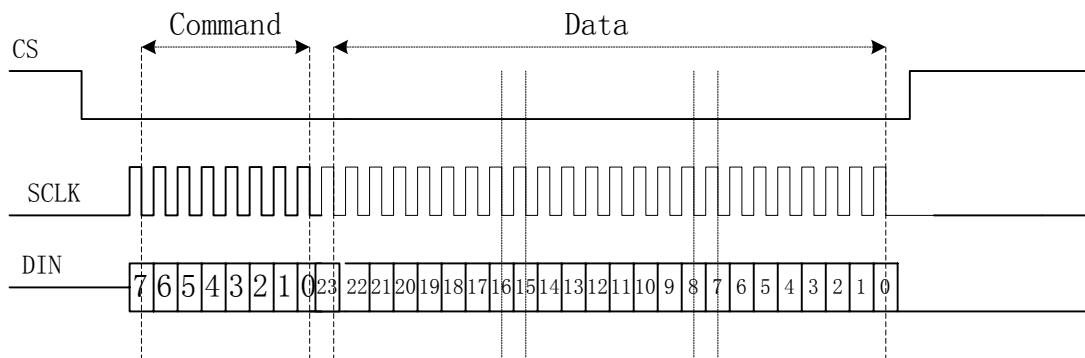


图 4-3-1 写操作时序

ATT7026E 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: 1 表示写命令，用于外部 MCU 写 ATT7026E 寄存器参数

Bit6...0: 表示寄存器地址，参照寄存器定义部分

SPI 写操作示例：

```

01 WriteSpi(Byte Com, UINT Data)      13 }
02 {                                  14 ; Send 24-bits Data to SPI
03 ; Enable SPI                       15 for (n=23, Data=0; n>=0; n--)
04 CS=1;                               16 {
05 SCLK=0;                             17     SCLK=1;
06 CS=0;                               18     DIN=Data. n;
07 ; Send 8-bits Command to SPI       19     SCLK=0;
08 for (n=7; n>=0; n--)               20 }
09 {                                   21 ; Disable SPI
10     SCLK=1;                         22 CS=1;
11     DIN=Com. n;                     23 }
12     SCLK=0;                         24 }
    
```

4.4. SPI 写特殊命令字操作

ATT7026E 提供一些特殊的命令字以配合软件校表之用，SPI 写特殊命令字的操作过程与 SPI 写操作时序一致。

SPI 写特殊命令字时序图：

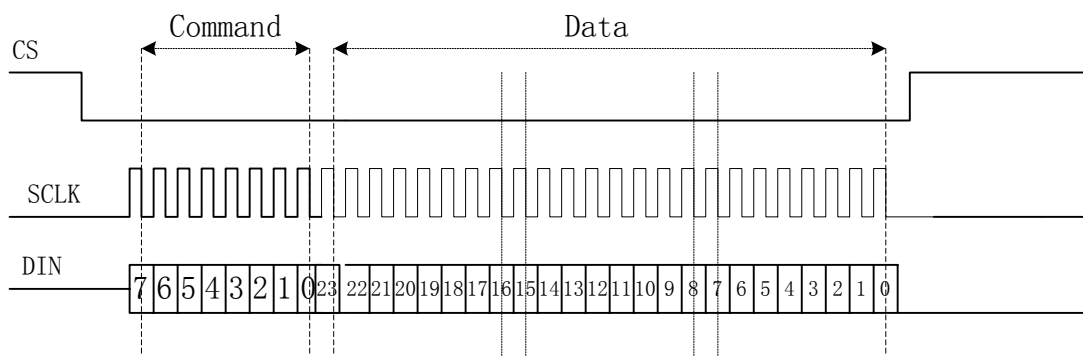


图 4-4-1 写特殊命令字操作时序

ATT7026E 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：

Bit7/6: 11 表示写入特殊命令字

Bit7/6: 10 表示写命令，用于外部 MCU 更新 ATT7026E 校表数据

Bit7/6: 0X 表示读命令，用于外部 MCU 读取 ATT7026E 的参数

Bit5...0: 表示特殊命令字的类型

特殊命令使用说明：

ATT7026E 提供的特殊命令主要有：0xC0，0xC1，0xC3，0xC4，0xC5，0xC6，xC9 和 0xD3。

特殊命令	命令字	24 位数据	命令说明
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
校表数据读出	0xC6	0x00005A	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 0x00005A, 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 0x705200
校表数据写使能	0xC9	0x00005A	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。
软件复位	0xD3	0x000000	发送命令 0xD3, 数据 0x000000 可以对 ATT7026E 进行复位操作。

5. 寄存器功能

5.1. 计量参数寄存器列表

表 5-1 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	3	0x7126A0	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_IORms	3	0x000000	零线电流 I0 通道有效值
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_FstCntA	3	0x000000	A 相快速脉冲计数
3AH	r_FstCntB	3	0x000000	B 相快速脉冲计数
3BH	r_FstCntC	3	0x000000	C 相快速脉冲计数
3CH	r_FstCntT	3	0x000000	合相快速脉冲计数
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	0x0164D7	校表数据校验和(三相四线模式下)
		3	0x0170D7	校表数据校验和(三相三线模式下)
3FH	r_Sample_I0	3	0x000000	零线电流 I0 通道采样数据输出

5.2. 计量参数寄存器说明

5.2.1. 功率寄存器（地址：0x01~0x0C）

功率寄存器包括：有功功率、无功功率、视在功率，以及基波有功功率。

Addr	0x01	0x02	0x03	0x04	0x05	0x06	0x07	0x08
Reg	Pa	Pb	Pc	Pt	Qa	Qb	Qc	Qt
Addr	0x09	0x0A	0x0B	0x0C				
Reg	Sa	Sb	Sc	St				

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

ATT7026E 功率寄存器采用补码形式给出，最高位是符号位，所以根据 ATT7026E 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。

5.2.2. 有效值寄存器（地址：0x0D~0x013、0x29、0x2B）

Addr	0x0D	0x0E	0x0F	0x10	0x11	0x12	0x13	0x2B
Reg	UaRms	UbRms	UcRms	IaRms	IbRms	IcRms	ItRms	UtRms
Addr	0x29							
Reg	InRms							

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

ATT7026E 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： $Urms = Vrms / 2^{13}$

实际分相电流有效值为： $Irms = (Vrms / 2^{13}) / N$ （N 为比例系数，当额定电流 Ib 取样为 50mV 时 N=60/Ib，当额定电流 Ib 取样为 25mV 时 N=30/Ib）

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，当额定电流 I_b 取样为 50mV 时 $N=60/I_b$ ，当额定电流 I_b 取样为 25mV 时 $N=30/I_b$)

单位为：伏特(V)或者安培(A)。

5.2.3. 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

ATT7026E 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： $pf = PFF / 2^{23}$

5.2.4. 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	Pgb	Pgc		YUaUb	YUaUc	YUbUc	

Power Angle Register (Pg)			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 4 位是符号位，表示 $-180^\circ \sim +180^\circ$ 之间的夹角。

θ : 21 位数据，补码形式

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 Angle Register (Ug)				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

电压夹角寄存器采用补码形式给出，高 4 位是符号位，表示 $0^\circ \sim 360^\circ$ 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，补码形式

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

或者 $YUaUb = (YUaUb / 2^{20}) * \pi$ 弧度

5.2.5. 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: $f = \text{Freq} / 2^{13}$ ，单位：赫兹(Hz)。

5.2.6. 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	TPSD 20...Freq3	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：

真实温度 $TP=TC - 0.726*TMM$

其中 TC 为校正值，当室温为 25 度时，进行温度校正得到 TC。

5.2.7. 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	Eqd
Addr	0x35	0x36	0x37	0x38	0x44	0x45	0x46	0x47
Reg	Esa	Esb	Esc	Est	LineEpa	LineEpb	LineEpc	LineEpd

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

Reactive Energy (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

ATT7026E 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

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。

5.2.8. 快速脉冲计数寄存器（地址：0x39~0x3C）

Addr	0x39	0x3A	0x3B	0x3C				
Reg	FstCntA	FstCntB	FstCntC	FstCntT				

Fast Pulse Counter (FPC)		Address: 39H~3CH					
	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，ATT7026E 提供快速脉冲计数寄存器。当快速脉冲计数寄存器 FstCntA / FstCntB / FstCntC / FstCntT 计数的值大于等于 HFconst 时，相应的能量寄存器 Epa / Epb / Epc / Ept 会相应的加 1。

快速脉冲计数寄存器：24 位寄存器，无符号数

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

5.2.9. 标志状态寄存器（地址：0x2C）

EMU State Register (EMUState)				Address: 2CH				
	Bit 23	Bit 22	Bit 21	Bit 20	Bit 19	Bit 18	Bit 17	Bit 16
Read:	-	-	-	-	Line Cstart	Line Bstart	Line Astart	
Write:	X	X	X	X	X	X	X	X
Reset:	0	0	0	0	0	0	0	0
	Bit 15	Bit 14	Bit 13	Bit 12	Bit 11	Bit 10	Bit 9	Bit 8
Read:	Sync_err	Sync_ready	Negq	Negp	Cstart	Bstart	Astart	-
Write:	X	X	X	X	X	X	X	X

Reset:	0	0	0	0	0	0	0	0
	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
Read:	SIG	Revq	Revp	Iorder	Uorder	PC	PB	PA
Write:	X	X	X	X	X	X	X	X
Reset:	0	0	0	0	0	0	0	0

位名称	描述
Bit00	PA =1, 表示 A 相失压; =0, A 相未失压。
Bit01	PB =1, 表示 B 相失压; =0, B 相未失压。
Bit02	PC =1, 表示 C 相失压; =0, C 相未失压。
Bit03	Uorder =1, 表示电压相序错; =0, 电压未错相序。
Bit04	Iorder =1, 表示电流相序错; =0, 电流未错相序。
Bit05	Revq =1, 表示至少有一相有功功率为负; =0, 所有相有功功率为正。
Bit06	Revq =1, 表示至少有一相无功功率为负; =0, 所有相无功功率为正。
Bit07	上电复位后, IRQ pin 信号自动变低, 同时 SFlag.7 置高; 当 SPI 写入数据后, IRQ 信号自动变高的同时 SFlag.7 自动变低, 即 SFlag 的 bit07 SIG 标志位与硬件 SIG 信号是完全同步的。
Bit09	=1, 表示 A 相处于潜动状态; =0, A 相处于起动状态。
Bit10	=1, 表示 B 相处于潜动状态; =0, B 相处于起动状态。
Bit11	=1, 表示 C 相处于潜动状态; =0, C 相处于起动状态。
Bit12	=1, 表示合相有功功率为负; =0, 合相有功功率为正。
Bit13	=1, 表示合相无功功率为负; =0, 合相无功功率为正。
Bit14	=1, 表示同步数据缓存完毕, Sync_En 写 0 清除。
Bit15	=1, 表示同步数据功能系数超出范围, ync_En 写 0 清除。

5.2.10. 电能寄存器工作状态寄存器 (地址: 0x1D)

Energy Overflow Register (EOV)				Address: 1DH				
	Bit 15	Bit 14	Bit 13	Bit 12	Bit 11	Bit 10	Bit 9	Bit 8
Read:	-	-	-	-	StOV	ScOV	SbOV	SaOV
Write:	X	X	X	X	X	X	X	X
Reset:	0	0	0	0	0	0	0	0
	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
Read:	QtOV	QcOV	QbOV	QaOV	PtOV	PcOV	PbOV	PaOV
Write:	X	X	X	X	X	X	X	X
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, 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。

5.2.11. 功率方向寄存器 (地址: 0x3D)

Power Sign Register (Psign)				Address: 3DH				
	Bit 15	Bit 14	Bit 13	Bit 12	Bit 11	Bit 10	Bit 9	Bit 8
Read:	-	-	-	-	-	-	-	-
Write:	X	X	X	X	X	X	X	X
Reset:	0	0	0	0	0	0	0	0
	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
Read:	QtSign	QcSign	QbSign	QaSign	PtSign	PcSign	PbSign	PaSign
Write:	X	X	X	X	X	X	X	X
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。

位名称	描述
Bit00	=1, 表示 A 相有功功率反向; =0, 正向。
Bit01	=1, 表示 B 相有功功率反向; =0, 正向。
Bit02	=1, 表示 C 相有功功率反向; =0, 正向。
Bit03	=1, 表示合相有功功率反向; =0, 正向。
Bit04	=1, 表示 A 相无功功率反向; =0, 正向。
Bit05	=1, 表示 B 相无功功率反向; =0, 正向。
Bit06	=1, 表示 C 相无功功率反向; =0, 正向。
Bit07	=1, 表示合相无功功率反向; =0, 正向。

5.2.12. 中断标志寄存器 (地址: 0x1B)

Interrupt Flag Register (Iflag)				Address: 1BH				
	Bit 15	Bit 14	Bit 13	Bit 12	Bit 11	Bit 10	Bit 9	Bit 8

Read:	-	TPS_Ok	BufferFull	-	-	-	-	-
Write:	X	X	X	X	X	X	X	X
Reset:	0	0	0	0	0	0	0	0
	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
Read:	-	-	WaveIE	UcZx	UbZx	UaZx	Updata	SIG
Write:	X	X	X	X	X	X	X	X
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(SIG 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。
Bit13	=1，表示发生缓冲 buffer 满中断；=0，未发生此中断。
Bit14	=1，表示发生 TPS 转换结束中断；=0，未发生此中断。

5.2.13. 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:	Sample23	Sample22	Sample21	Sample20...Sample3	Sample2	Sample1	Sample0
Write:	X	X	X	X	X	X	X
Reset:	0	0	0	0	0	0	0

ADC 采样数据为 19 位补码数据，高 6 位为符号位，即 bit18~23 为符号位，实时存储 ADC 采样数据，可配合中断 WaveIE 得到 ADC 实时采样数据。

5.2.14. 校表数据校验和寄存器（地址：0x3E）

Cali-Checksum Register (Scheck)		Address: 3EH					
	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

ATT7026E 提供校验和寄存器 ChkSum，用于存放 ATT7026E 内部所有校表数据的校验和，外部 MCU

可以检测这个寄存器的值来监控 ATT7026E 的校表数据是否错乱。注意，校验和是从地址 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。

5.2.15. 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。

5.2.16. 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。

5.3. 表参数寄存器列表

表 5-2 校表参数寄存器列表: (Read/Write)

地址	名称	字长	复位值	功能描述
00H	Reserved	2	0xAAAA	校表参数寄存器起始标志
01H	w_ModeCfg	2	0x89AA	模式相关控制
02H	w_PGACtrl	2	0x0000	ADC 增益配置
03H	w_EMUCfg	2	0x0804	EMU 单元配置
04H	w_PgainA	2	0x0000	A 相有功功率增益
05H	w_PgainB	2	0x0000	B 相有功功率增益
06H	w_PgainC	2	0x0000	C 相有功功率增益
07H	w_QgainA	2	0x0000	A 相无功功率增益
08H	w_QgainB	2	0x0000	B 相无功功率增益
09H	w_QgainC	2	0x0000	C 相无功功率增益
0AH	w_SgainA	2	0x0000	A 相视在功率增益
0BH	w_SgainB	2	0x0000	B 相视在功率增益
0CH	w_SgainC	2	0x0000	C 相视在功率增益
0DH	w_PhSregApq0	2	0x0000	A 相相位校正 0
0EH	w_PhSregBpq0	2	0x0000	B 相相位校正 0
0FH	w_PhSregCpq0	2	0x0000	C 相相位校正 0
10H	w_PhSregApq1	2	0x0000	A 相相位校正 1
11H	w_PhSregBpq1	2	0x0000	B 相相位校正 1
12H	w_PhSregCpq1	2	0x0000	C 相相位校正 1
13H	w_PoffsetA	2	0x0000	A 相有功功率 offset 校正
14H	w_PoffsetB	2	0x0000	B 相有功功率 offset 校正
15H	w_PoffsetC	2	0x0000	C 相有功功率 offset 校正
16H	w_QPhscal	2	0x0000	无功相位校正
17H	w_UgainA	2	0x0000	A 相电压增益
18H	w_UgainB	2	0x0000	B 相电压增益
19H	w_UgainC	2	0x0000	C 相电压增益
1AH	w_IgainA	2	0x0000	A 相电流增益
1BH	w_IgainB	2	0x0000	B 相电流增益
1CH	w_IgainC	2	0x0000	C 相电流增益
1DH	w_Istarup	2	0x0160	起动电流阈值设置
1EH	w_Hfconst	2	0x0500	高频脉冲输出设置
1FH	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)
20H	w_GainADC7	2	0x0000	第七路 ADC 输入信号增益
21H	w_QoffsetA	2	0x0000	A 相无功功率 offset 校正
22H	w_QoffsetB	2	0x0000	B 相无功功率 offset 校正

23H	w_QoffsetC	2	0x0000	C相无功功率 offset 校正
24H	w_UaRmsoffse	2	0x0000	A相电压有效值 offset 校正
25H	w_UbRmsoffse	2	0x0000	B相电压有效值 offset 校正
26H	w_UcRmsoffse	2	0x0000	C相电压有效值 offset 校正
27H	w_IaRmsoffse	2	0x0000	A相电流有效值 offset 校正
28H	w_IbRmsoffse	2	0x0000	B相电流有效值 offset 校正
29H	w_IcRmsoffse	2	0x0000	C相电流有效值 offset 校正
2AH	w_UoffsetA	2	0x0000	A相电压通道 ADC offset 校正
2BH	w_UoffsetB	2	0x0000	B相电压通道 ADC offset 校正
2CH	w_UoffsetC	2	0x0000	C相电压通道 ADC offset 校正
2DH	w_IoffsetA	2	0x0000	A相电流通道 ADC offset 校正
2EH	w_IoffsetB	2	0x0000	B相电流通道 ADC offset 校正
2FH	w_IoffsetC	2	0x0000	C相电流通道 ADC offset 校正
30H	w_EMUIE	2	0x0001	中断使能
31H	w_ModuleCFG	2	0x4527	电路模块配置寄存器
32H	w_AllGain	2	0x0000	全通道增益, 用于 Vref 的温度校正
33H	w_HFDouble	2	0x0000	脉冲常数加倍选择
34H	-----	2	0x2C59	-----
35H	w_PinCtrl	2	0x000F	数字 pin 上下拉电阻选择控制
36H	w_Pstart	2	0x0030	起动功率设置寄存器
37	w_Iregion	2	0x7FFF	相位补偿区域设置寄存器
38	reserved	2	0x1000	reserved
39	reserved	2	0x4500	reserved

注: 用户在通过 SPI 通信读写校表寄存器时, 校表数据需放置在 3 个数据字节的低 2 个字节里。

注: 列表中黄色部分为量产版与工程样片不同的地方。

5.4. 校表参数寄存器说明

5.4.1. 模式配置寄存器 (地址: 0x01)

Mode Config (ModeCfg)			Address: 01H					
	Bit 15	Bit 14	Bit 13	Bit 12	Bit 11	Bit 10	Bit 9	Bit 8
Read:	Chop_REF_	UbSel	RmsLpf_	PRFCFG	CIB_ADC1	CIB_ADC0	SampleR1	SampleR0
Write:	En		En					
Reset:	0	0	0	0	1	0	0	1
	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
Read:	Chop_ADC_	EnADC6	EnADC5	EnADC4	EnADC3	EnADC2	EnADC1	EnADC0
Write:	En							
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。								
Bit01	=1 表示开启 Ia 通道 adc; =0 关闭。								
Bit02	=1 表示开启 Ua 通道 adc; =0 关闭。								
Bit03	=1 表示开启 Ib 通道 adc; =0 关闭。								
Bit04	=1 表示开启 Ub 通道 adc; =0 关闭。								
Bit05	=1 表示开启 Ic 通道 adc; =0 关闭。								
Bit06	=1 表示开启 Uc 通道 adc; =0 关闭。								
Bit07	=1 表示开启 adc 的 chop 功能; =0 关闭。为得到更好的 ADC 性能, 推荐打开								
Bit09 Bit08	SampleR1/0: 用于选择 femu 时钟 <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%;">00</td> <td style="width: 33%;">01</td> <td style="width: 33%;">1X</td> </tr> <tr> <td>1.8432MHz</td> <td>921.6kHz/</td> <td>460.8kHz</td> </tr> </table>	00	01	1X	1.8432MHz	921.6kHz/	460.8kHz		
00	01	1X							
1.8432MHz	921.6kHz/	460.8kHz							
Bit11 Bit10	CIB_ADC1/0: 用于选择 iref 偏置电流 <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 25%;">11</td> <td style="width: 25%;">10</td> <td style="width: 25%;">01</td> <td style="width: 25%;">00</td> </tr> <tr> <td>10uA</td> <td>7.5uA</td> <td>5uA</td> <td>5uA</td> </tr> </table> 在降低芯片功耗与得到更好的 ADC 性能矛盾, 折中推荐 0x10 选择 7.5uA	11	10	01	00	10uA	7.5uA	5uA	5uA
11	10	01	00						
10uA	7.5uA	5uA	5uA						
Bit12	有效值和功率的更新速率选择, =1 表示慢速(1.76Hz); =0 快速(28.1Hz)。 正常运用时, 为得到稳定的有效值与功率值, 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。								
Bit13	选择有效值的稳定时间, =1 表示慢速, 跳动小; =0 快速, 跳动大。 正常运用时, 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。								
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: 单 adc 的功耗为 600uA, chop_adc 可改善小信号的跳动。

5.4.2. 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		
	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
Read:	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
Write:								
Reset:	IcPGA1	IcPGA0	IbPGA1	IbGA0	IaPGA1	IaPGA0	IOPGA1	IOPGA0

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 Bit05	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

5.4.3. EMU 单元配置 (地址: 0x03)

EMU Config (EMUCfg)			Address: 03H					
	Bit 15	Bit 14	Bit 13	Bit 12	Bit 11	Bit 10	Bit 9	Bit 8
Read:	---	SRun	QRun	PRun	StartSel	----	WaveSel1	WaveSel0
Write:								
Reset:	0	0	0	0	1	0	0	0
	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
Read:	EnergyClr	EAddmode	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=5.5M, femu=900KHz 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> 当 femu=1.8MHz/450K 时, 选择的波形采样频率与上表成正向比例变化。	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]: 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	保留位										
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 CF1 通路能量计量功能; =0, 关闭 CF1 计量功能。										
Bit13	=1, 开启无功能量 CF2 通路能量计量功能; =0, 关闭 CF2 计量功能。										
Bit14	=1, 开启视在能量 CF3 通路能量计量功能; =0, 关闭 CF3 计量功能。										
Bit15	保留位										

5.4.4. 功率增益补偿寄存器(地址: 0x04~0x0C)

Addr	0x04	0x05	0x06	0x07	0x08	0x09	0x0A	0x0B	0x0C
Reg	Pa	Pb	Pc	Qa	Qb	Qc	Sa	Sb	Sc

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 $\cos(\phi)=1$ 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, 不需要校正, 但在 $Smode=1$ 选择 RMS 方式计量时, 需要另外校正。

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 $GP1 = INT[2^{16} + Pgain * 2^{15}]$

5.4.5. 相位校正寄存器(地址: 0x00D~0x12)

Power Phase Calibrate (Pha~Phc)			Address: 0DH~12H				
	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 $\cos(\phi)=1$ 时功率增益已经校正好之后，再进行相位补偿，相位校正在 $\cos(\phi)=0.5L$ 出进行校正。

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

5.4.6. 功率 offset 校正 (地址: 0x13~0x15, 0x21~0x23)

Active Power Offset (Posa~Posc)				Address: 13H~15H			
	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			
	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 $x\%I_b$ (5%, 2%) 点的电表误差为 $Err\%$

$x\%I_b$ 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， $P_{offset} = INT[(P_{real} * EC * HFCONST * 2^{23} * (-Err\%)) / (5.184 * 10^{10})]$ 。

5.4.7. 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	0001	0	1	0
--------	---	---	---	------	---	---	---

默认值对应于 femu=921.6K 时的情况，不需要再校正；femu 为其他频率时需要按照下面的公式进行校正：

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

5.4.8. 电压增益校正寄存器(地址：0x17~0x19)

Voltage Gain (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：

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

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

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

5.4.9. 电流增益校正寄存器(地址：0x1A~0x1C, 0x20)

Current Gain (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 DataI

已知：实际输入电压有效值 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 $N=60/I_b$;)

计算公式:

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

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

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

5.4.10. 启动电流设置寄存器 (地址: 0x1D)

Current Start (Istart)				Address: 1DH			
	Bit15	14	13	12 ... 3	2	1	Bit0
Read:	Is15	Is14	Is13	Is12...Is3	Is2	Is1	Is0
Write:							
Reset:	0	0	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 $I_o = I_b * N * \text{比例设置点}$ (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 $I_o=1.5*40*0.4\%$ 。

5.4.11. 高频脉冲常数设置(地址: 0x1E)

High Frequency Constant(HFconst)				Address: 1EH			
	Bit15	14	13	12 ... 3	2	1	Bit0
Read:	HF15	HF14	HF13	HF12...HF3	HF2	HF1	HF0
Write:							
Reset:	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)

ATT7026E 增益 G

HFconst 计算公式:

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

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

5.4.12. 失压阈值设置寄存器(地址: 0x1F)

Voltage Fail (Ufail)			Address: 1FH				
	Bit15	14	13	12 ... 3	2	1	Bit0
Read:	Uf15	Uf14	Uf13	Uf12...Uf3	Uf2	Uf1	Uf0
Write:							
Reset:	0	0	0	0	0	0	0

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 $\text{FailVoltage} = U_n \cdot 2^6 \cdot D$

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 $220 \cdot 2^6 \cdot 10\% = 0x0580$ 。也就是说将 0x0580 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 $U_n=100V$, 失压电压百分比 $D=60\%$, 则失压阈值寄存器的参数为 $100 \cdot 2^6 \cdot 60\% = 0x0F00$ 。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。

5.4.13. 有效值 offset 校正 (地址: 0x24~0x29)

Voltage Offset (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

Current Offset (Iosa~Iosc)			Address: 27H~29H				
	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 I_{rms}

计算公式： $I_{rmsOffset} = (I_{rms}^2) / (2^{15})$ 。

5.4.14. 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

Adc Offset (adc_Ua~adc_Ic)			Address: 2AH~2FH				
	Bit15	14	13	12 ... 3	2	1	Bit0
Read:	ADCos15	ADCos14	ADCos13	ADCos12...ADCos3	ADCos2	ADCos1	ADCos0
Write:							
Reset:	0	0	0	0	0	0	0

ADC Offset 校正高通滤波器关闭情况下使用，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，取平均值后写入校正寄存器。

注意：ADC 实时采样数据为 19 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 19 位中的高 16 位对齐。

5.4.15. 中断使能寄存器 (地址: 0x30)

Mode Config (ModeCfg)			Address: 30H					
	Bit 15	Bit 14	Bit 13	Bit 12	Bit 11	Bit 10	Bit 9	Bit 8
Read:	-	TPS_Ok	BufferFu 11	-	-	-	-	-
Write:								
Reset:	0	0	0	0	0	0	0	0
	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
Read:	-	-	SampleE	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 SIG 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 SIG 为高，复位完成后 SIG 信号为低，当写入校表参数后即校表参数不为初始值，SIG 信号立即拉高，当校表参数被清除即校表参数为初始值 SIG 信号立即拉低。此位必选，无法被清除。

Bit01	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。
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	温度传感器转换结束中断使能位，=1 表示使能；=0 关闭。

5.4.16. 模拟模块使能寄存器 (地址: 0x31)

Analog ModuleConfig (ModuleCfg)			Address: 31H					
	Bit 15	Bit 14	Bit 13	Bit 12	Bit 11	Bit 10	Bit 9	Bit 8
Read:	-	-	-	-	SPI_Mode	-	-	-
Write:								
Reset:	0	1	0	0	0	1	0	1
	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
Read:	TPS_sel	IRQCFG	Bor_En	TPS_En	Rosi_en	HPFONU	HPFONI	HPFONIO
Write:								
Reset:	0	0	1	0	0	1	1	1

只有使能相应的中断位，相应中断标志才会通过 SIG 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	=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。
Bit11	=1, 选择 SPI 低速模式；=0 选择 SPI 高速模式

5.4.17. 全通道增益寄存器 (地址: 0x32)

All Channel Gain (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。

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。

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

如果 Allgain >= 0，则 GP1 = INT[Allgain * 2¹⁵]

否则 Allgain < 0，则 GP1 = INT[2¹⁶ + Allgain * 2¹⁵]

5.4.18. 脉冲加倍寄存器 (地址: 0x33)

All Channel Gain (ACG)			Address: 33H				
	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

ATT7026E 提供脉冲常数加倍选择寄存器 HFDoube，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，HFDoube 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。

HFDoube 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

5.4.19. IO 状态配置寄存器 (地址: 0x35)

Mode Config (ModeCfg)			Address: 01H					
	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
	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
Read:	-	-	-	-	DinCtrl	SelkCtrl	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。

5.4.20. 起动功率寄存器 (地址: 0x36)

Power Start (Pstart)			Address: 36H				
	Bit15	14	13	12 ... 3	2	1	Bit0
Read:	Ps15	Ps14	Ps13	Ps12...Ps3	Ps2	Ps1	Ps0
Write:							
Reset:	0	0	0	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: $P_{startup} = \text{INT}[0.6 * U_b * I_b * HFconst * EC * k\% * 2^{23} / (2.592 * 10^{10})]$

5.4.21. 相位补偿区域设置寄存器(地址: 0x37)

Phase Iregion (Iregion)			Address: 37H				
	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 2 段, 此寄存器用于设置电流分段点。当电流有效值 $I_{rms} > I_{region}$, 将相位补偿校正值写入到 $w_PhSregXpq0$; 当电流有效值 $I_{rms} < I_{region}$, 将相位补偿校正值写入到 $w_PhSregXpq1$ 。

已知: 电流设置区域 I_s

计算公式: $I_{region} = \text{INT}[I_s * 2^5]$

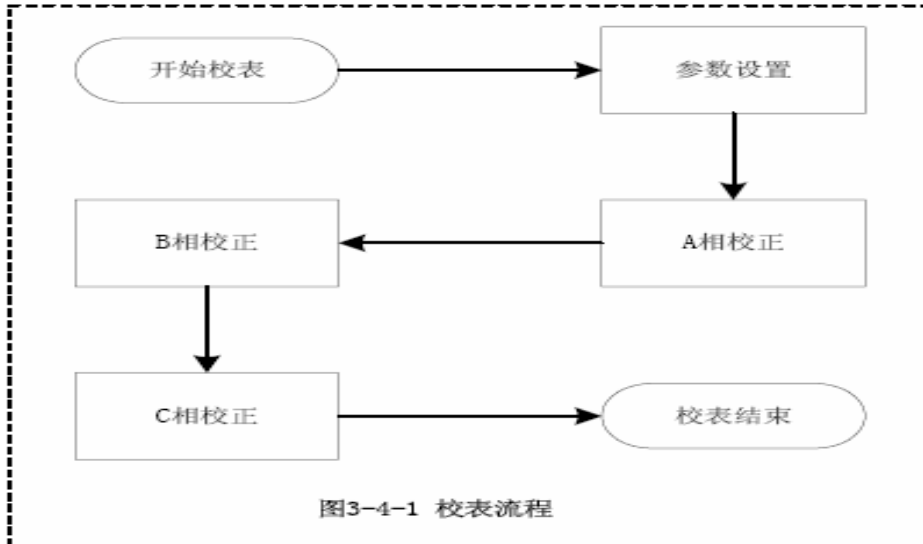
其中 $I_s = I_b * N$ 比例设置点(额定电流对应取样信号为 25mV, 则 $N = 30/I_b$; 额定电流对应取样信号为 50mV, 则 $N = 60/I_b$;) 例如, 启动电流设置为 15%, $I_b = 1.5A$ 取样信号 50mV, 则 $I_s = 1.5 * 40 * 15\%$ 。

5.5. 推荐校表过程

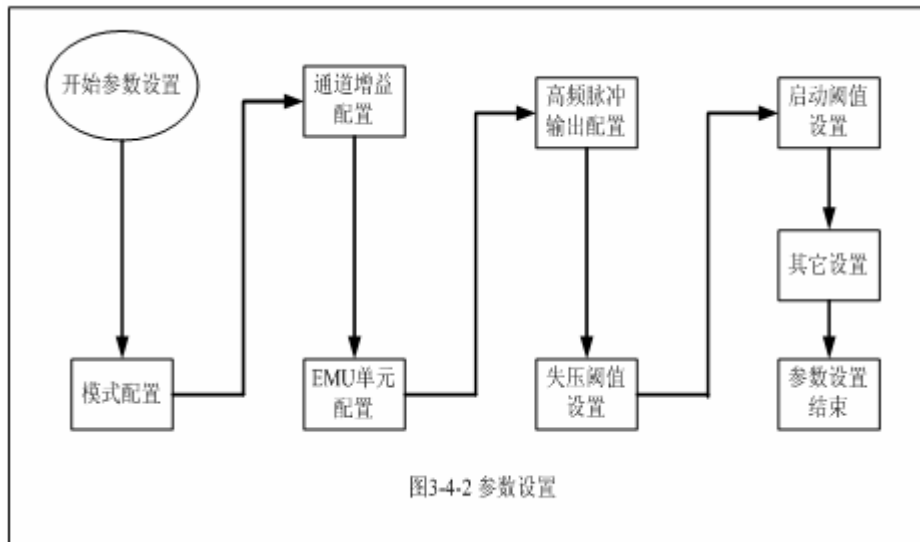
在对 ATT7026E 设计的电表进行校正时, 必须提供标准电能表。利用标准电能表校表时, 有功能

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 ATT7026E 进行校正, ATT7026E 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。

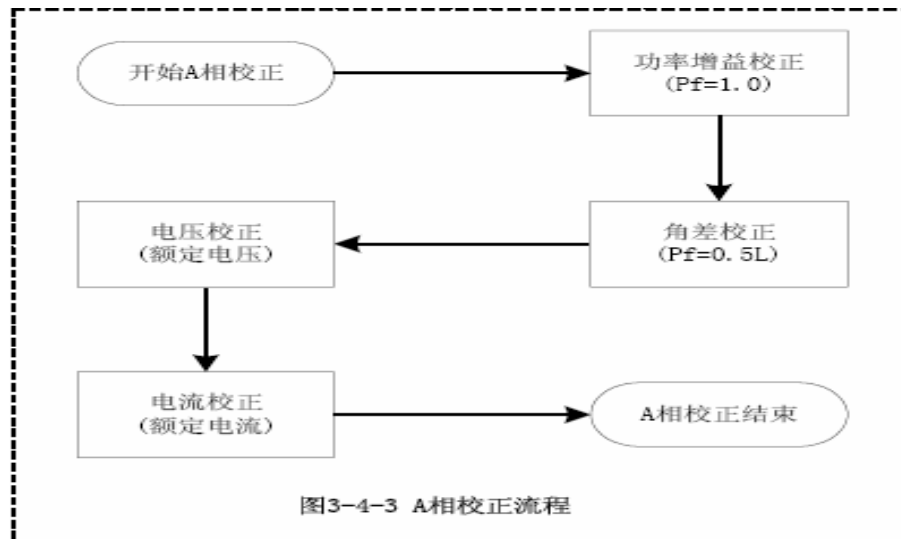
校表流程:



参数设置:



分相校正:



5.5.1. 校表及推荐

- 1) 模式配置寄存器(0x01)写入: 0xB9FE。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: 0x7804。开启能量计量, 使用功率作为潜动起动依据, 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) 无功相位校正寄存器(0x16)写入: 0x0000。
- 5) 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: $\text{HFConst} = 2.592 * V_u * V_i * 10^{10} * 1.06 * 1.06 / (\text{EC} * U_n * I_b)$ 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： $HFconst=0x0080*(1+err\%)$

举例说明：

电表常数（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： $HFCONST = 0x0080 * (1+52.8\%) = 0x00C3$

6) 功率增益校正

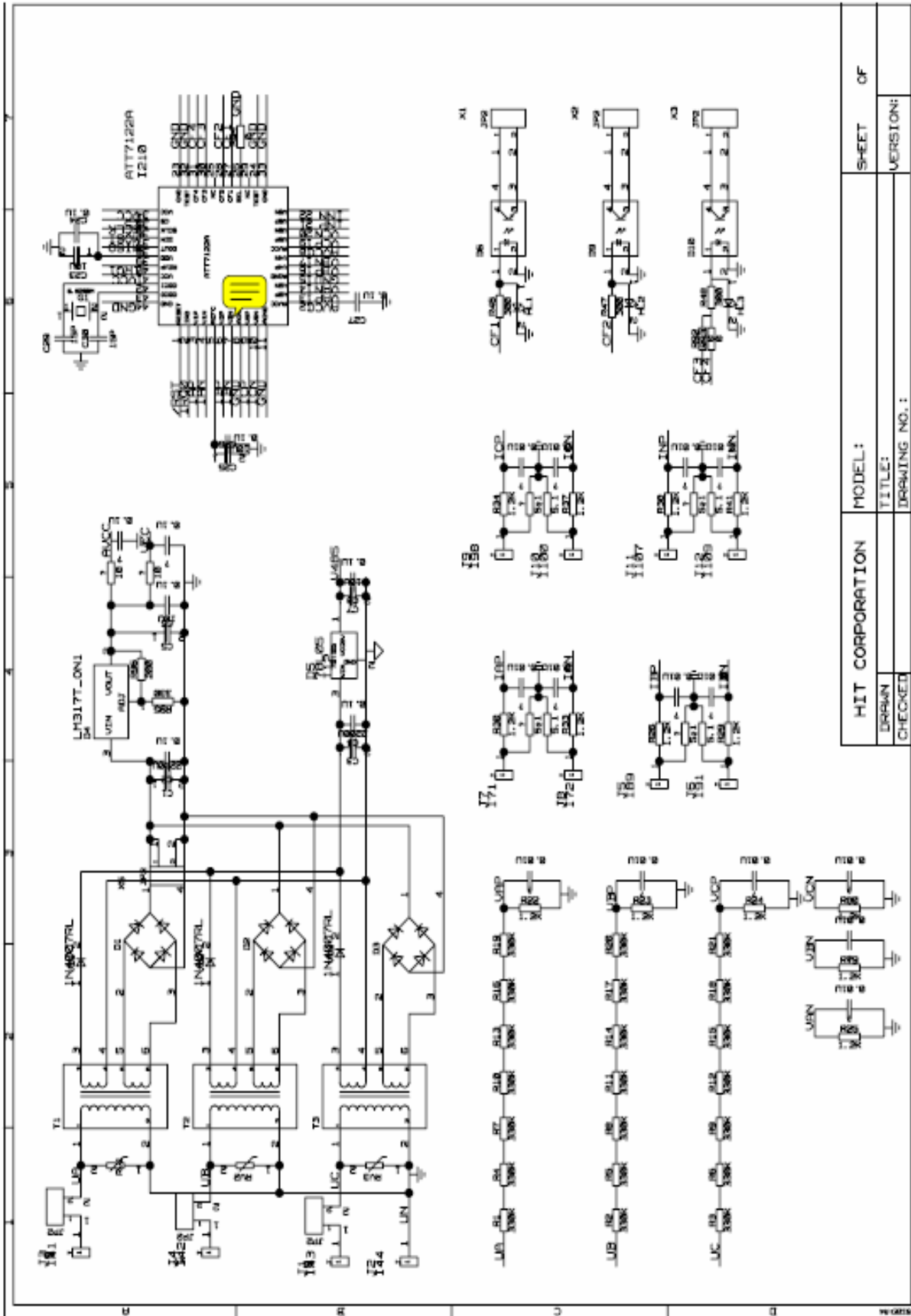
根据功率增益校正寄存器说明计算，注意 Pgain\Qgain\Sgain 写入相同值即可。

7) 相位校正

参见校正寄存器说明。

8) 电压、电流有效值校正

参见校正寄存器说明。



THIS DOCUMENT CONTAINS INFORMATION PROPRIETARY TO HIT CORPORATION (HIT). USE OR DISCLOSURE WITHOUT THE WRITTEN PERMISSION OF AN OFFICER OF HIT IS EXPRESSLY FORBIDDEN.

HIT CORPORATION		MODEL:	SHEET		OF
DESIGN	CHECKED	TITLE:	VERSION:		
		DRAWING NO.:			

6. 电气特性

6.1. 电气参数

测试条件: $V_{cc}=AV_{cc}=3.3V$, 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		%	3000: 1
无功电能测量误差		0.1		%	3000: 1
电压有效值测量误差		0.1		%	300: 1
		0.5			3000: 1
电流有效值测量误差		0.1		%	300: 1
		0.5			3000: 1
ADC 参数					
输入电压范围			±710	mV	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		±20	±40	Ppm	
功耗					
EMU 时钟选择 921.6kHz		7.0		mA	7 路 ADC 全部打开
		4.5			只开 3 路电流 ADC
EMU 时钟选择 1.8432MHz		8.4		mA	7 路 ADC 全部打开
		5.9			只开 3 路电流 ADC
直流参数					
数字电源电压 V_{cc}	3.0	3.3	3.6	V	
模拟电源电压 AV_{cc}	3.0	3.3	3.6	V	
脉冲口 CF 输出驱动电流		5	10	mA	
$VOH(CF1\CF2\CF3\CF4\REVP)$	$0.9*V_{cc}$			V	
$VOL(CF1\CF2\CF3\CF4\REVP)$			$0.1*V_{cc}$	V	
逻辑输入高电平	$0.8*V_{cc}$			V	
逻辑输入低电平			$0.2*V_{cc}$	V	
逻辑输出高电平	$0.9*V_{cc}$			V	
逻辑输出低电平			$0.1*V_{cc}$	V	
晶体		5.5296		MHz	
工作温度范围	-40		85	度	

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

6.2. 芯片封装

44Pin LQFP(10x10)

