

CSE7761 用户手册

宽电压、高性能电能计量芯片
REV 2.0

芯海科技（深圳）股份有限公司

地 址：深圳市南山区蛇口南海大道1079号花园城数码大厦A座9楼

电 话：+(86 755)86169257 传 真：+(86 755)86169057

网 站：www.chipsea.com 邮 编：518067

微信号：芯海科技



版本历史

| 历史版本 | 修改内容 | 版本日期 |
|---------|---------------------|------------|
| REV 1.0 | 初始版本 | 2018-04-01 |
| REV 2.0 | 对性能指标进行核对校正 | 2019-06-13 |
| REV2.1 | 过零检测相对与实际信号的过零点延时修正 | 2019-07-08 |

目 录

| | |
|--|-----------|
| 版本历史..... | 2 |
| 目 录..... | 3 |
| 1 产品概述..... | 5 |
| 1.1 特性总览..... | 5 |
| 1.2 功能简述..... | 5 |
| 1.3 功能框图..... | 6 |
| 1.4 产品型号、封装和 PIN 配置..... | 7 |
| 1.5 典型应用图..... | 9 |
| 2 功能概述..... | 11 |
| 2.1 复位系统..... | 11 |
| 2.2 时钟系统的实现..... | 11 |
| 2.3 模数转换..... | 12 |
| 2.4 通道切换..... | 12 |
| 2.5 有功功率..... | 12 |
| 2.6 有效值..... | 13 |
| 2.7 视在功率及功率因数..... | 14 |
| 2.8 能量计算..... | 14 |
| 2.9 过零检测、相角、电压频率测量(先打开瞬时数据功能)..... | 15 |
| 2.10 峰值检测(先打开瞬时数据功能)..... | 17 |
| 2.11 过流、过压、有功功率过载检测(先打开瞬时数据功能)..... | 19 |
| 2.12 电压骤降检测(先打开瞬时数据功能)..... | 21 |
| 2.13 均值信号..... | 23 |
| 2.14 瞬时信号和波形采样..... | 23 |
| 2.15 温度传感器..... | 24 |
| 2.16 比较器..... | 25 |
| 3 寄存器说明..... | 27 |
| 3.1 校表参数寄存器..... | 29 |
| 3.1.1 系统控制寄存器..... | 29 |
| 3.1.2 计量控制寄存器..... | 29 |
| 3.1.3 计量控制寄存器 2..... | 30 |
| 3.1.4 脉冲频率寄存器..... | 31 |
| 3.1.5 无负载有功功率（潜动与启动）阈值寄存器 PstartPA、PstartPB..... | 31 |
| 3.1.6 有功功率和视在功率增益校正寄存器..... | 32 |
| 3.1.7 相位校正寄存器..... | 32 |
| 3.1.8 有功功率和视在功率 Offset 校正寄存器..... | 33 |
| 3.1.9 电流有效值 Offset 校正寄存器..... | 33 |
| 3.1.10 电流通道 B 增益寄存器..... | 33 |
| 3.1.11 电压骤降设置寄存器..... | 34 |
| 3.1.12 阈值设置寄存器..... | 34 |
| 3.1.13 PIN 脚功能输出选择寄存器..... | 34 |
| 3.2 计量参数寄存器..... | 35 |
| 3.2.1 快速有功电能脉冲计数器..... | 35 |
| 3.2.2 相角寄存器..... | 36 |
| 3.2.3 电压频率寄存器..... | 36 |
| 3.2.4 电流电压有效值寄存器..... | 36 |

| | | |
|----------|-------------------------|-----------|
| 3.2.5 | 功率因数寄存器 | 36 |
| 3.2.6 | 有功电能寄存器 | 37 |
| 3.2.7 | 平均功率寄存器 | 37 |
| 3.2.8 | 计量状态寄存器 | 38 |
| 3.2.9 | 峰值寄存器 | 38 |
| 3.3 | 瞬时值与波形寄存器 | 39 |
| 3.3.1 | 瞬时值寄存器 | 39 |
| 3.3.2 | 波形寄存器 | 39 |
| 3.4 | 中断状态寄存器 | 40 |
| 3.4.1 | 中断配置和允许寄存器 IE | 40 |
| 3.4.2 | 中断状态寄存器 IF | 40 |
| 3.4.3 | 复位中断状态寄存器 RIF | 41 |
| 3.5 | 系统状态寄存器 | 42 |
| 3.5.1 | 系统状态寄存器 SysStatus | 42 |
| 3.5.2 | SPI 读校验寄存器 RDATA | 42 |
| 3.5.3 | SPI 写校验寄存器 WDATA | 43 |
| 3.5.4 | 系数寄存器 | 43 |
| 3.5.5 | DeviceID 寄存器 | 44 |
| 4 | 校表方法 | 45 |
| 4.1 | 概述 | 45 |
| 4.2 | 校表流程和参数计算 | 45 |
| 4.2.1 | 校表流程 | 45 |
| 4.2.2 | 参数设置 | 45 |
| 4.2.3 | 有功校准 | 46 |
| 4.2.4 | 有效值校准 | 47 |
| 4.2.5 | 视在功率校准 | 47 |
| 4.2.6 | 举例 | 48 |
| 5 | 通信接口 | 50 |
| 5.1 | SPI 接口 | 50 |
| 5.1.1 | CSE7761 SPI 命令格式 | 50 |
| 5.1.2 | SPI 命令格式 | 50 |
| 5.1.3 | SPI 写操作时序 | 50 |
| 5.1.4 | SPI 读操作时序 | 51 |
| 5.2 | CSE7761 UART 命令格式 | 51 |
| 5.2.1 | UART 通讯格式 | 51 |
| 5.2.2 | UART 帧格式时序 | 53 |
| 5.2.3 | UART 写操作 | 53 |
| 5.2.4 | UART 读操作 | 53 |
| 6 | 芯片特性说明 | 55 |
| 6.1 | 推荐工作条件 | 55 |
| 6.2 | 模拟特性 | 55 |
| 6.3 | 数字特性 | 56 |
| 6.4 | 极限工作条件 | 57 |
| 7 | 芯片封装 | 58 |

1 产品概述

1.1 特性总览

- 时钟管理
内置晶振和外置晶振功能可选。
- 计量功能
 - 提供两路有功电能：有功电能误差在 5000:1 动态范围内误差<0.1%
 - 提供两路有功功率：通道 A 有功功率和通道 B 有功功率，默认通道 B 关闭
 - 提供视在功率、功率因数、相角，通过命令选择计算的通道：通道 A 或通道 B
 - 提供一路电压、两路电流的波形数据
 - 提供一路电压、两路电流有效值的瞬时值
 - 提供两路有功功率和一路视在功率的瞬时值
视在功率的瞬时值通过命令选择计算的通道：通道 A 或通道 B
 - 提供一路电压、两路电流有效值的测量：在 1000:1 动态范围内有效值误差<0.1%
 - 提供有功功率过载的信号指示，通过命令选择计算的通道：通道 A 或通道 B
 - 提供电压通道的过零检测信号、线频率、过压指示、欠压指示
 - 提供两路电流通道的过零检测信号、过流指示
- 通信接口
 - SPI 接口，最快支持频率 890KHz
 - UART 接口,波特率 4800Hz、9600Hz、19200Hz、38400Hz。
- 具有系统校正功能、相位补偿功能；启动、潜动电流可调
- 支持软件复位
- 1 路高精度比较器
- 内置温度传感器
- 电压和两路电流通道的 PGA 可选：1、2、4、8、16
- 多种中断：电压过零中断、过压中断、欠压中断、电流过零中断、过流中断、有功功率过载中断、瞬时数据更新中断、电压/电流有效值和功率均值更新中断
- 内置 1.25 基准电压
- 工作电压：VDD=5V/3.3V
- 封装形式：SSOP16

1.2 功能简述

CSE7761 是一款单相多功能电能计量芯片，其内部集成了 3 路 sigma-delta ADC、功率计算器、能量-频率转换器、一路 SPI 接口、一路 UART 接口。

CSE7761 芯片可用于精确计算电压有效值、电流有效值、有功功率、视在功率、功率因数的高性能功率测量应用，提供高速的电压、电流的波形数据和电压有效值、电流有效值、有功功率和视在功率的瞬时数据，提供 2 路的有功能量计量，同时可提供功率因数、相角、电压过压、电流过流、有功

功率过载、电压欠压、电压线频率、电压过零、电流过零和峰峰值等参数或指示信号的输出。

1.3 功能框图

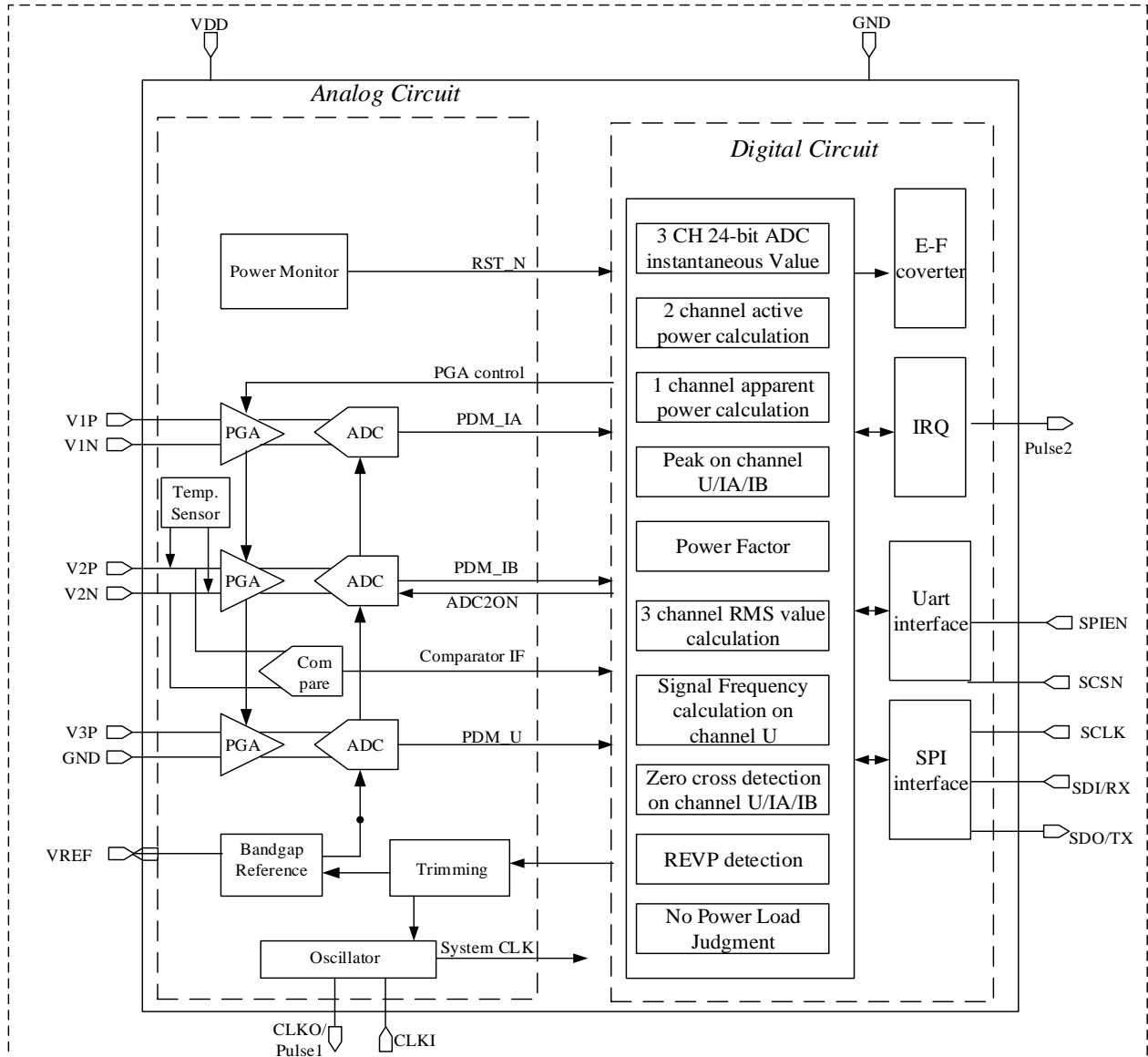


图 1-1 芯片原理框图

1.4 产品型号、封装和 PIN 配置

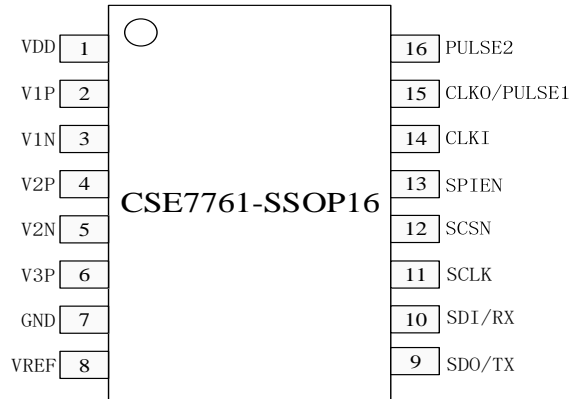


图 1-2 CSE7761-SSOP16 封装 PIN 脚图

表 1-1 CSE7761-SSOP16 管脚说明

| 管脚名称 | I/O | SSOP16 | 描述 | | | | | | | | | | | | |
|------------|-----|--------------|---|-------|----------|----|---|---|----------|---|---|------------|---|---|------------|
| VDD | P | PIN1 | 芯片电源，工作电压范围 3V-5.5V，典型电压 5V 或者 3.3V，保证电源纹波在±10%之内。 | | | | | | | | | | | | |
| V1P V1N | I | PIN2 PIN3 | 电流通道 A 的模拟输入引脚；采用全差分输入方式,正常工作最大输入 V_{pp} 为±800mV/PGA，最大承受电压为±6V | | | | | | | | | | | | |
| V2P V2N | I | PIN4 PIN5 | 电流通道 B 的模拟输入引脚或比较器检测的输入引脚或内部温度传感器输入；采用完全差分输入方式，正常工作最大输入 V_{pp} 为±800mV/PGA，最大承受电压为±6V | | | | | | | | | | | | |
| V3P | I | PIN6 | 电压通道的模拟输入引脚；正常工作最大输入 V_{pp} 为±800mV/PGA，最大承受电压为±6V | | | | | | | | | | | | |
| GND | P | PIN7 | 芯片地 | | | | | | | | | | | | |
| VREF | P | PIN8 | 1.25V 基准电压的输出,该引脚应使用最少 1μF 电容并联 0.1μF 电容进行去耦。 | | | | | | | | | | | | |
| SDO/TX | O | PIN9 | SPI 接口的数据输出或 UART 的数据输出端 TX | | | | | | | | | | | | |
| | | | <table border="1"> <thead> <tr> <th>SPIEN</th> <th>SCSN</th> <th>描述</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>SPI 数据输出</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>高阻态输出</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>x</td> <td>UART 的数据输出</td> </tr> </tbody> </table> | SPIEN | SCSN | 描述 | 1 | 0 | SPI 数据输出 | 1 | 1 | 高阻态输出 | 0 | x | UART 的数据输出 |
| | | | SPIEN | SCSN | 描述 | | | | | | | | | | |
| | | | 1 | 0 | SPI 数据输出 | | | | | | | | | | |
| 1 | 1 | 高阻态输出 | | | | | | | | | | | | | |
| 0 | x | UART 的数据输出 | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| SDI/RX | I | PIN10 | SPI 接口的数据输入或 UART 的数据输入端 RX | | | | | | | | | | | | |
| | | | <table border="1"> <thead> <tr> <th>SPIEN</th> <th>SCSN</th> <th>描述</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>x</td> <td>SPI 数据输入</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>x</td> <td>UART 的数据输入</td> </tr> </tbody> </table> | SPIEN | SCSN | 描述 | 1 | x | SPI 数据输入 | 0 | x | UART 的数据输入 | | | |
| | | | SPIEN | SCSN | 描述 | | | | | | | | | | |
| | | | 1 | x | SPI 数据输入 | | | | | | | | | | |
| 0 | x | UART 的数据输入 | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | |

| | | | | | | |
|-------------|----------|-------|--|--------|------|--------------------------------|
| SCLK | I | PIN11 | SPI 接口的时钟输入 | | | |
| | | | SPIEN | SCLK | SCSN | 描述 |
| | | | 1 | x | x | SCLK:SPI 时钟输入 SCSN:SPI 片选信号 |
| | | | 0 | 1 | 1 | UART 的波特率为 38400 |
| | | | 0 | 0 | 1 | UART 的波特率为 19200 |
| | | | 0 | 1 | 0 | UART 的波特率为 9600 |
| 0 | 0 | 0 | UART 的波特率为 4800 | | | |
| SCSN | I | PIN12 | SPI 接口的片选信号或 UART 波特率选择信号 | | | |
| SPIEN | I | PIN13 | SPI 接口使能信号，内置下拉电阻 =1 时，CSE7761 通信方式是 SPI； =0 时，CSE7761 通信方式是 UART； | | | |
| CLKI | I | PIN14 | 外部晶振的输入端或数字功能输出：当 CLKI=0 时，使用内置晶振；当检测到 CLKI 上有正弦波时开启外部晶振功能。 晶体频率典型值为：3.579545MHz。 外接电容典型值为22pF，内部集成跨接电阻，外部不需要加跨接电阻。要求外部晶体的ESR小于50欧姆。 | | | |
| CLKO/PULSE1 | O | PIN15 | 外部晶振的输出端或数字功能输出 | | | |
| | | | CLKI | 描述 | | |
| | | | 0 | 数字功能输出 | | |
| 非 0 | 外部晶振的输出端 | | | | | |
| PULSE2 | O | PIN16 | 数字功能输出，具有 4.2mA(@VDD=5V)/ 1.9mA(@VDD=3.3V)的输出和吸电流能力。 | | | |

1.5 典型应用图

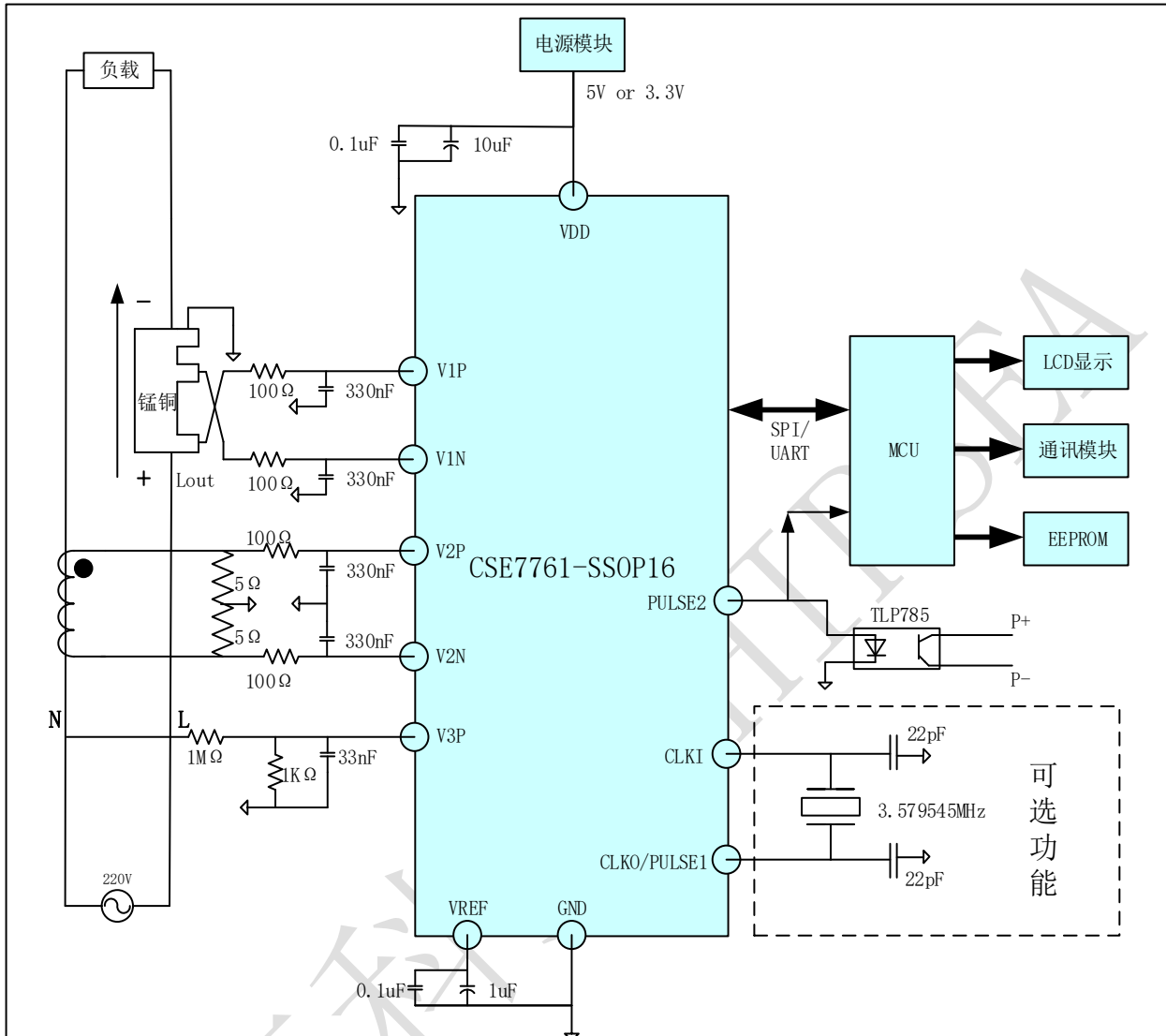


图 1-3 CSE7761 典型防窃电应用示意图

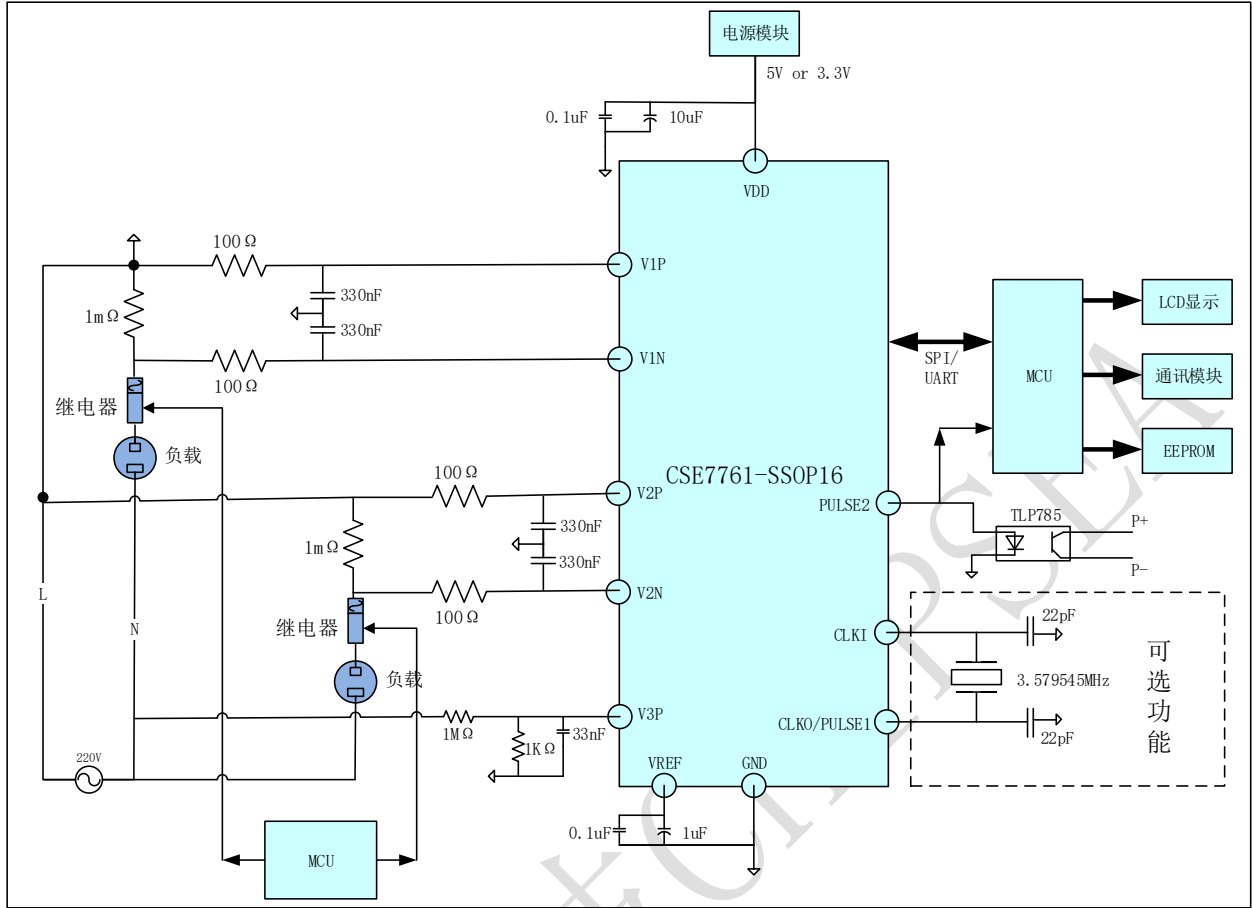


图 1-4 CSE7761 双路计量典型应用示意图

2 功能概述

2.1 复位系统

芯片具有上/下电复位和指令全局复位模式。

1. 芯片上电复位阈值电压是 2.9V，掉电复位阈值电压是 2.7V，迟滞电压 0.2V，如下图所示；

2. 芯片接收到复位指令之后，立即复位，两个系统时钟之后脱离复位；

任一全局复位发生时，寄存器恢复到复位初值，外部引脚电平恢复到初始状态。

系统状态寄存器中的 RST 是复位标志位：当上电复位或者指令复位结束时，该位置 1，读后清零。

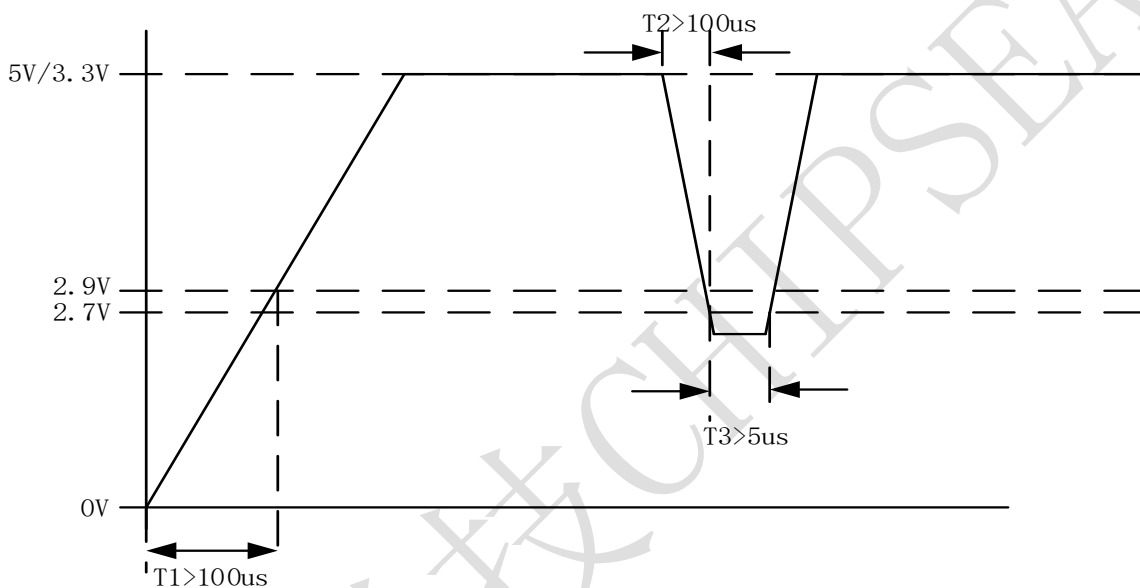


图 2-1 上电/掉电复位示意图

2.2 时钟系统的实现

CSE7761 可以使用外部晶振：晶体频率典型值为 3.579545MHz，外接电容最大不超过 47pF，典型值为 22pF，内部集成跨接电阻，外部不需要加跨接电阻，要求外部晶体的 ESR 小于 50 欧姆。

CSE7761 也可以使用内置晶振(CLKI=0)：典型频率为 3.579MHz；

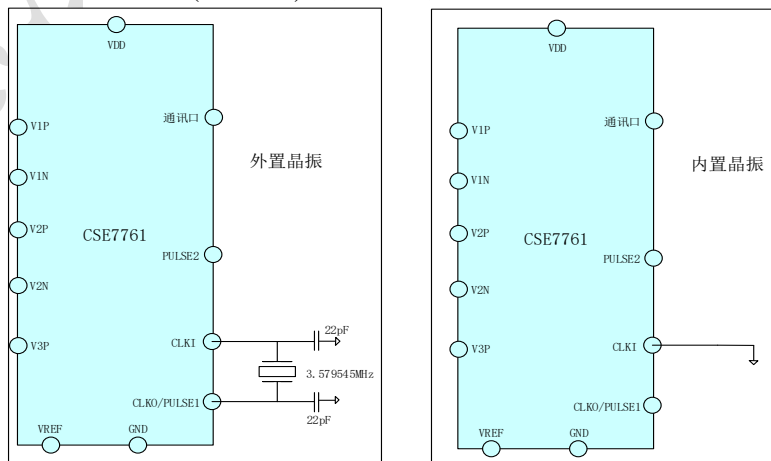


图 2-2 晶振选择示意图

2.3 模数转换

CSE7761 包括三路 ADC。电流通道 A 和电流通道 B 用于电流采样，电压通道用于电压采样，三路 ADC 把输入的模拟信号转换为连续的 1 和 0 串行流(PDM),串行流输入到数字电路中进行处理，形成各种电能计量的参数。

电流通道 B 的打开/关闭由系统控制寄存器中的 ADC2ON 寄存器位控制。

三路 ADC 最大信号输入幅度为峰峰值 800mV (PGA=1 时)。

通过配置系统控制寄存器(SYSCON 0x00H)中的 bit8~bit6、 bit5~bit3、 bit2~bit0 位，可以分别对三个通道的 ADC PGA 进行配置，放大倍数 5 档可选：1、2、4、8、16。电流通道 A 的增益放大倍数默认为 16 倍，电流通道 B 和电压通道的增益放大倍数默认为 1 倍。

表 2-1 增益 PGA 配置说明表

| 增益 PGA | VREF | 满量程差分输入信号峰峰值 | PGAIA | PGAIB | PGAU |
|--------|-------|--------------|-------|-------|------|
| 1 | 1.25V | 800 | 000 | 000 | 000 |
| 2 | | 400 | 001 | 001 | 001 |
| 4 | | 200 | 010 | 010 | 010 |
| 8 | | 100 | 011 | 011 | 011 |
| 16 | | 50 | 1xx | 1xx | 1xx |

2.4 通道切换

CSE7761 通过特殊的命令进行电流通道切换，实现相角、视在功率、功率因数、瞬时有功功率、瞬时视在功率的电流通道选择。通过 SYSStatus 的寄存器位 Channel_sel 可以查询当前选择的电流通道。

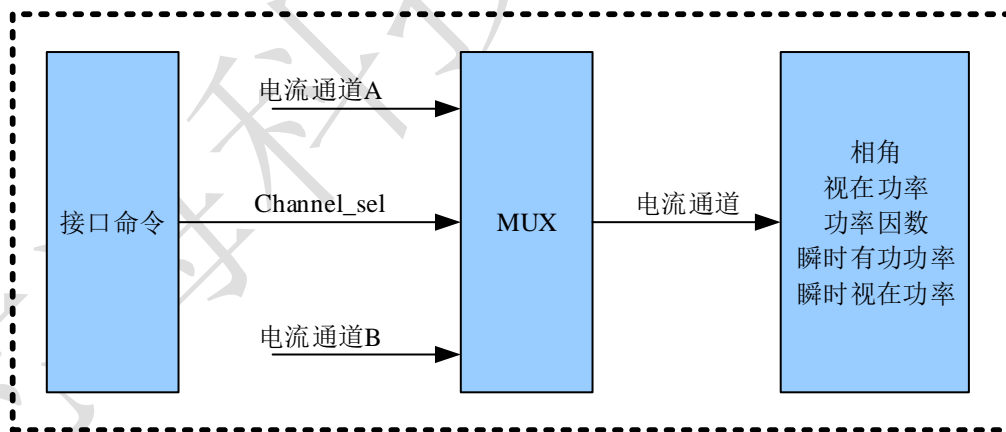


图 2-3 通道切换示意图

2.5 有功功率

CSE7761 提供两路有功功率的计算和校正，分别为电流通道 A 和电压通道有功功率的计算和校正、电流通道 B 和电压通道有功功率的计算和校正。

寄存器也包含 A/B 两套相位校正、有功 Offset 校正、有功增益校正、判断潜动和平均功率寄存器。

另外，为了保证两个通道的一致性，还提供了电流通道 B 的增益校正寄存器 IBGain。

注：当 ADC2ON=0 时，电流通道 B ADC 不工作，与电流通道 B 相关的功能也不工作。

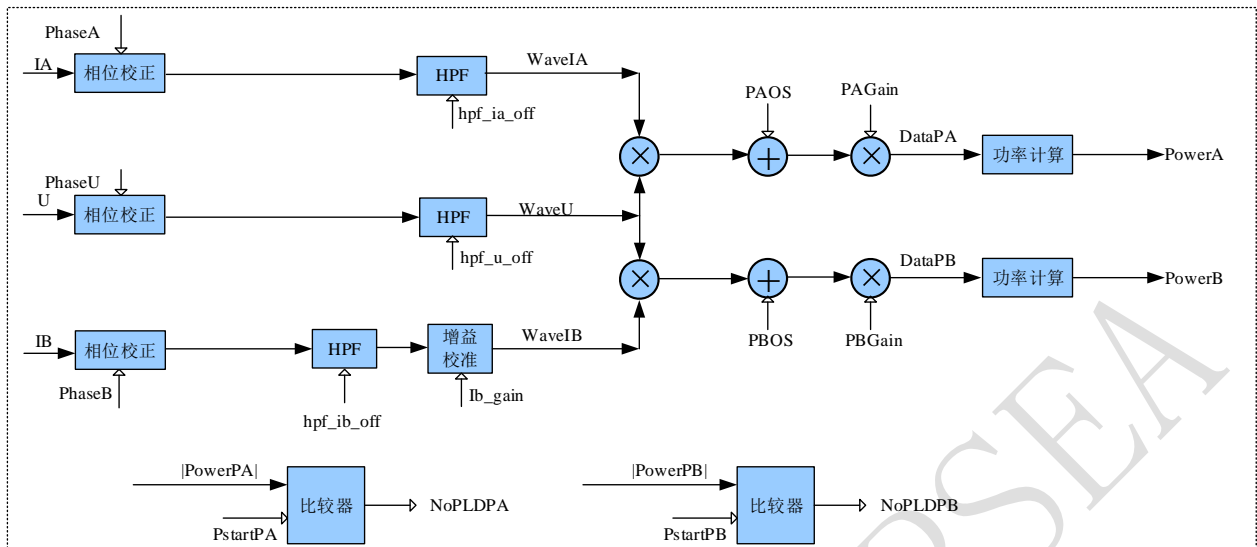


图 2-4 有功功率计算框图

2.6 有效值

CSE7761 提供三个通道的真有效值参数输出，相应的寄存器为 RmsIA、RmsIB 和 RmsU，寄存器位数为 24bits，更新频率可选：3.4Hz、6.8Hz、13.6Hz、27.2Hz。

CSE7761 同时提供两路电流通道的有效值 Offset 校准寄存器，相应寄存器为 RmsIAOS 和 RmsIBOS，寄存器位数为 16bits。

注：通道 B 增益校正（IBGain）会影响到 RmsIB 的输出，其他的相位校正、功率增益校正、功率 offset 校正等不会影响有效值的计算结果。

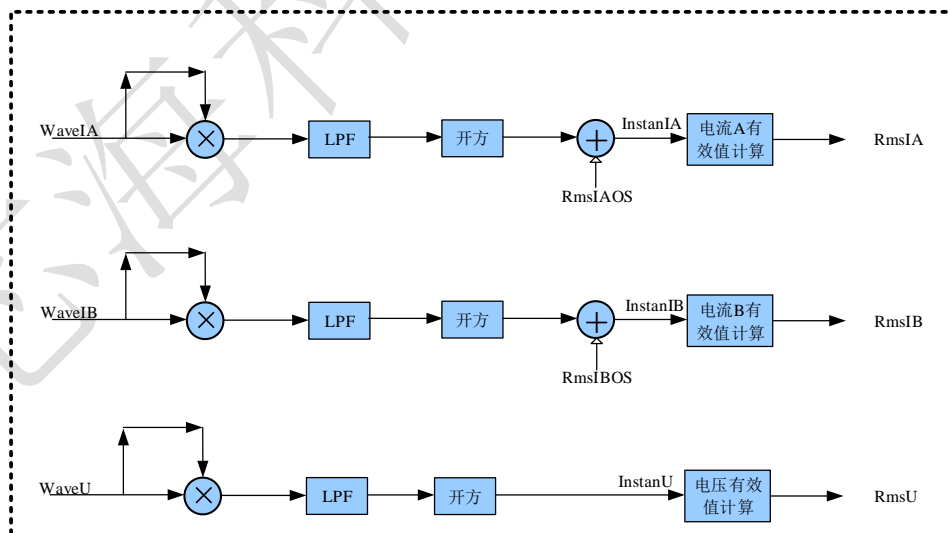


图 2-5 有效值计算框图

2.7 视在功率及功率因数

CSE7761 提供一路视在功率和功率因数的计算（计算功率因数时要先配置 PfactorEN=1）：通过命令选择计算的通道：通道 A 或通道 B。PowerFactor 是 24 位有符号小数，最高位为符号位。当 PF=7FFFFFFH 时，表示功率因数为 1.0；当 PF=800000H 时，表示功率因数为-1.0；当 PF=400000H 时，表示功率因数为 0.5；潜动状态下为 7FFFFFFH；

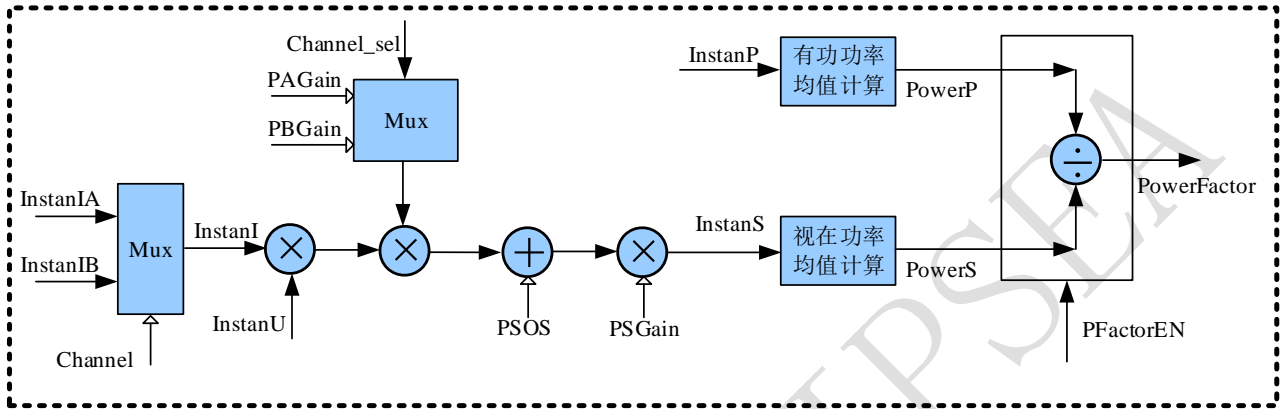


图 2-6 视在功率及功率因数计算框图

2.8 能量计算

PFCntPx、HFConst、脉冲输出、能量寄存器的关系：

当 $2 * |PFCntPx| = HFConst$ 时，PFx 有一个脉冲输出。同时能量寄存器 EnergyPx 和 EnergyPx2 加 1。

脉冲输出、能量寄存器和 Prun 以及 Pstart 的关系：

有功能量寄存器和 PFX 输出还受到 Prun 以及 Pstart 的控制。

当 Prun=0 或者 $|PowerPx|$ 小于 Pstart 时，PFx 不输出脉冲，PFCntPx 和有功能量寄存器不增加。

反向指示：当有功功率为负时，EMUStatus 寄存器的 REVPx 位会变为 1，REVPx 位与 PFX 脉冲同步更新。PFx 输出满足错误!未找到引用源。时序关系：

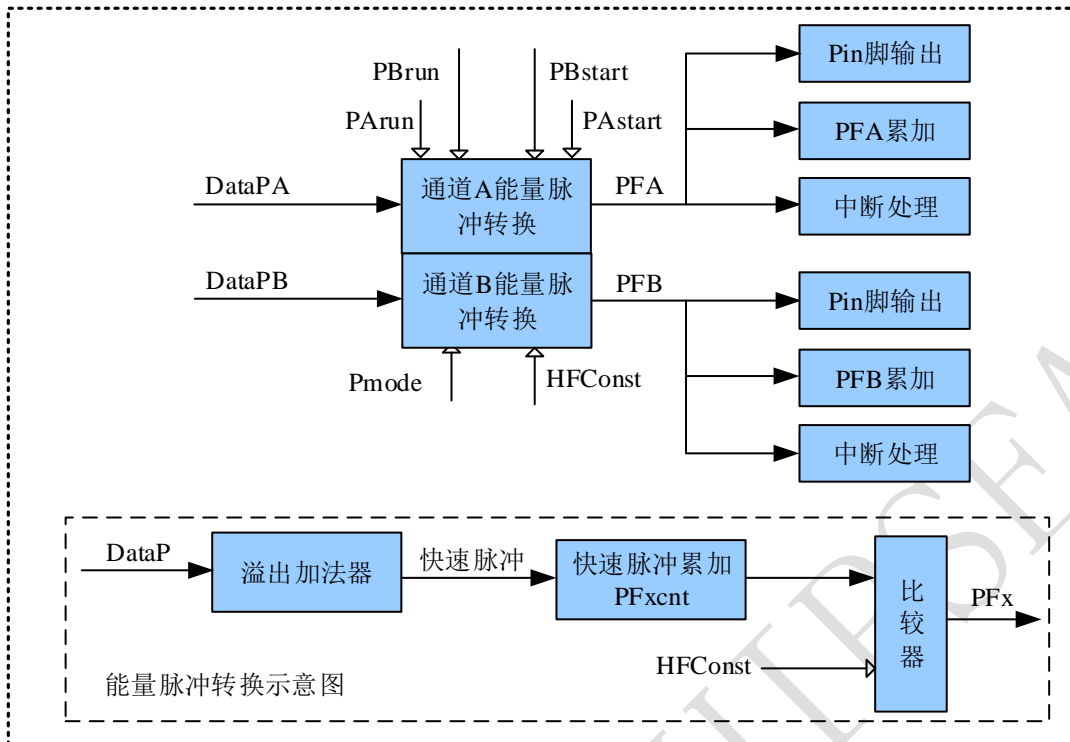


图 2-7 能量计算框图

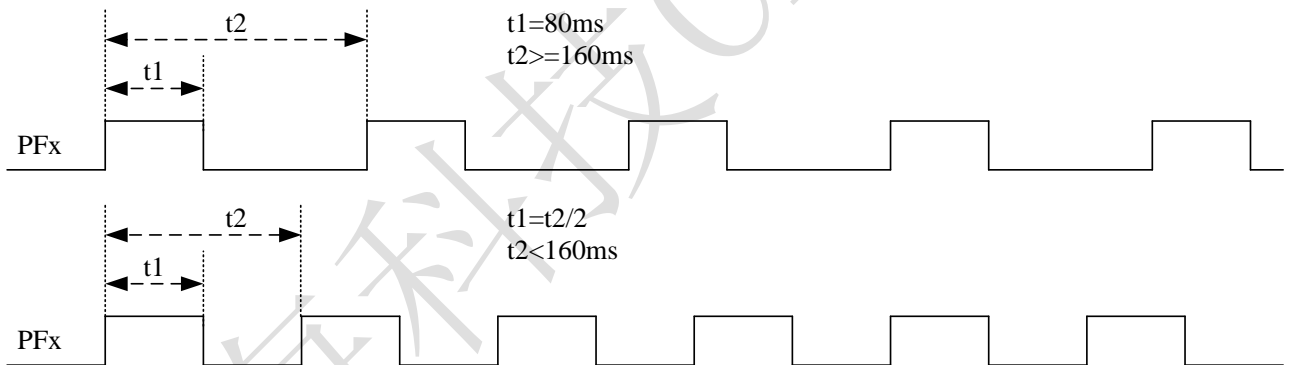


图 2-8 PFx 输出时序图

注意：当脉冲输出周期小于 160ms 时，脉冲以 50%的占空比形式输出。

2.9 过零检测、相角、电压频率测量(先打开瞬时数据功能)

CSE7761 电压通道、电流通道 A、电流通道 B 都有过零检测，通过配置 EMUCON2 的 ZXEN 寄存器可以开启/关闭过零检测功能，可以通过配置 ZXD1、ZXD0 寄存器位选择四种过零输出方式：参见**错误!未找到引用源。**

CSE7761 可以实现电压通道与电流通道 A 或电流通道 B 的相角测量（必须配置 ZXEN=1），必须要配置 ZXEN=1 才能进行相角的测量；寄存器 Angle 代表电压通道与电流通道 A 或电流通道 B 之间的夹角，当线频率为 50Hz 时分辨率为 0.0805° ；当线频率为 60Hz 时分辨率为 0.0965° 。

CSE7761 实现电压通道频率的测量（必须配置 ZXEN=1），测量基波频率，测量带宽 250Hz。通过读取 Ufreq 的值来确定电压频率，Ufreq 是一个 16 位的无符号数，频率计算公式为： $f = \text{clk_sys} / 8 / \text{Ufreq}$ 。例如，如果系统时钟为 $\text{clk_sys} = 3.579545\text{MHz}$ ， $\text{Ufreq} = 8948$ ，那么测量到的实际频率为： $f = 3579545 / 8 / 8948 = 49.9908\text{Hz}$ 。电压频率测量值更新的周期为 0.64s（电压频率为 50Hz 时）/0.533s（电压频率为 60Hz 时）。

注：CSE7761 的过零检测相对与实际信号的过零点有一定的延时：2.2ms。

表 2-2 过零方式

| ZXD1 | ZXD0 | 过零描述 |
|------|------|-------------------------------------|
| 0 | 0 | 表示选择正向过零点作为过零检测信号，过零输出信号为信号频率/2 |
| 0 | 1 | 表示选择负向过零点作为过零检测信号，过零输出信号为信号频率/2 |
| 1 | 0 | 表示在正向和负向过零点处 ZX 输出均发生变化，过零输出信号为信号频率 |
| 1 | 1 | |

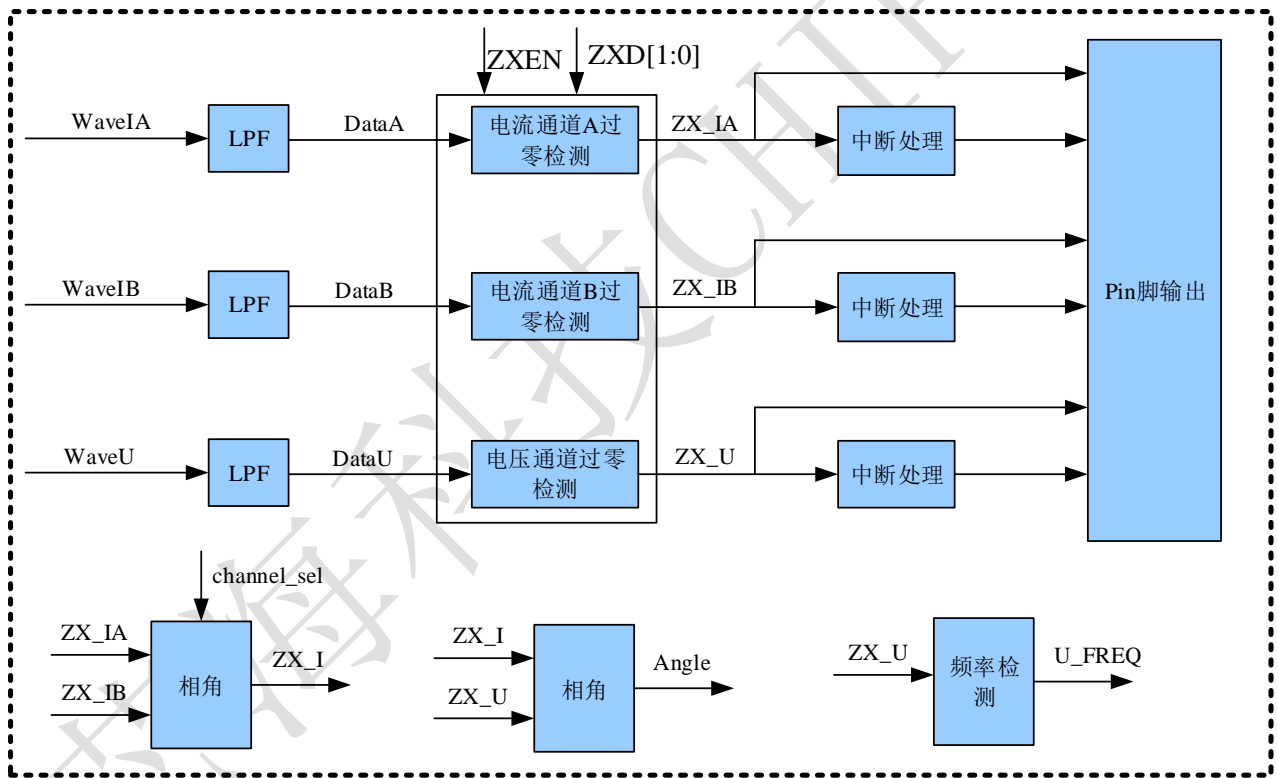


图 2-9 过零检测框图

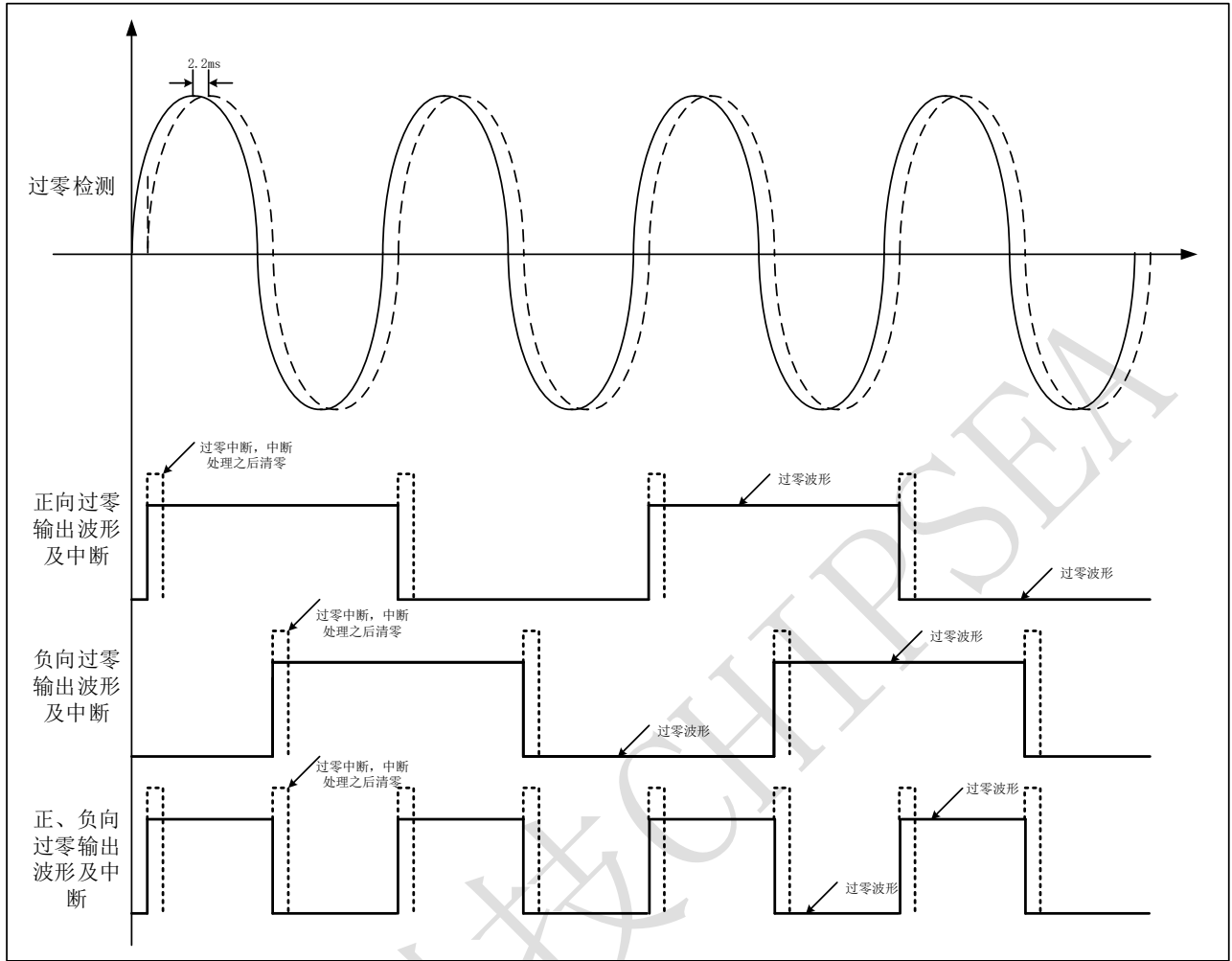


图 2-10 过零波形及过零中断示意图

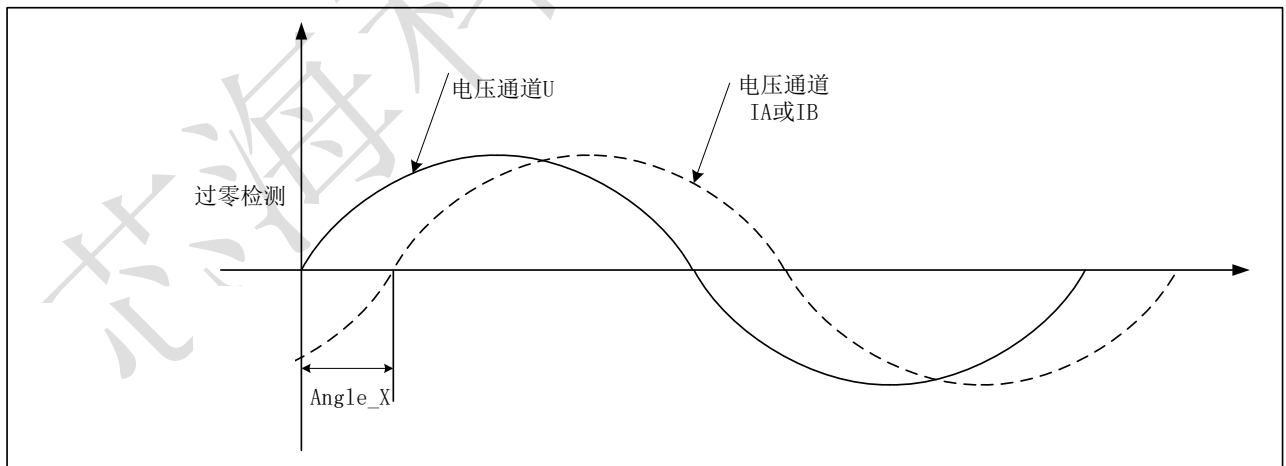


图 2-11 相角示意图

2.10 峰值检测(先打开瞬时数据功能)

CSE7761 的电流通道 A、电流通道 B 和电压通道具有峰值检测特性，通过配置 PeakEN 可以开启峰

值检测功能（必须要先配置 InstanEN=1）。该特性连续记录电压和电流波形的最大值。峰值检测可以与过压和过流检测一起使用，提供完整的骤升检测功能(参见过流和过压检测)。

峰值检测是指从电流和电压输出波形的绝对值获得瞬时测量结果，并将其存储到三个 24 位寄存器。记录电流通道 A、电流通道 B 和电压通道峰值的三个寄存器分别是 PeakIA、PeakIB 和 PeakU。

每当波形的绝对值超过 PeakIA、PeakIB 和 PeakU 寄存器中当前存储的值时，这些寄存器就会更新，读取这些寄存器会清除对应 xPEAK 寄存器的内容，重新开始峰值的测量。该测量没有相关的时间周期。
注：在读取峰值寄存器之后，等待 10ms 再去读取峰值寄存器的值，否则读到的峰值不一定是半波周期中最大的值。

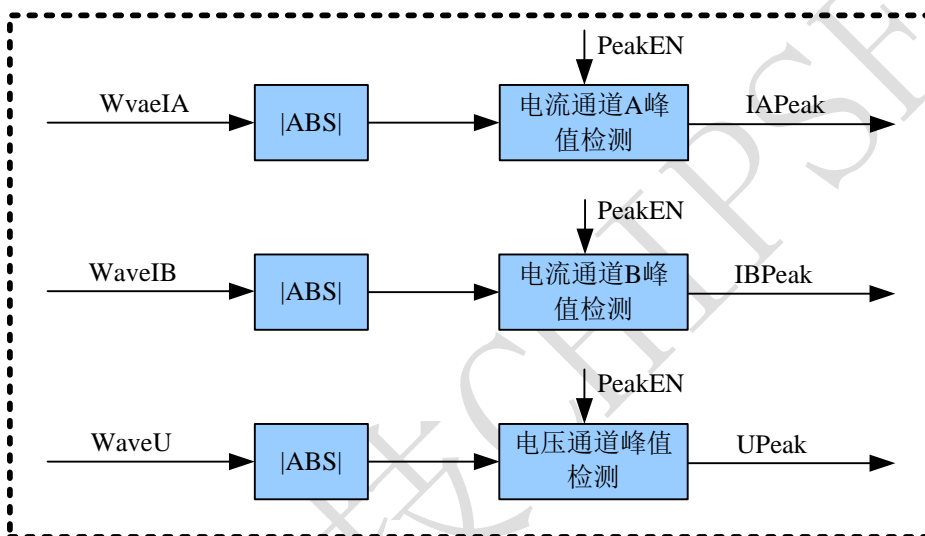


图 2-12 峰值检测框图

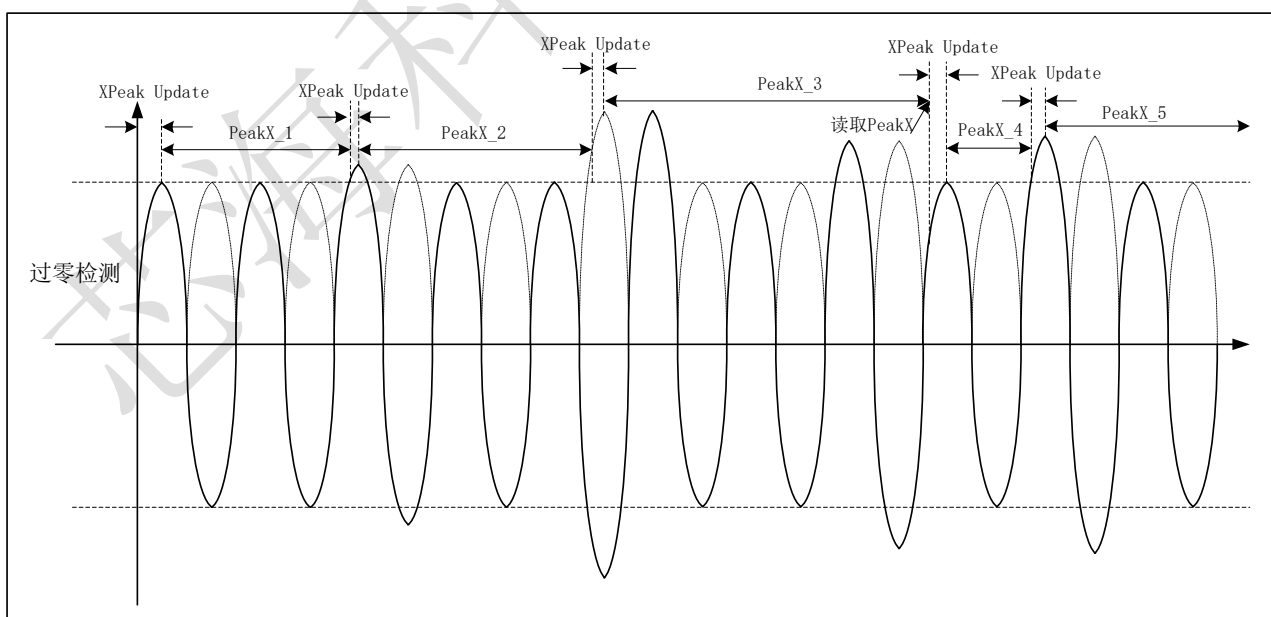


图 2-13 峰值检测示意图

2.11 过流、过压、有功功率过载检测(先打开瞬时数据功能)

CSE7761 具有过流、过压、有功功率过载检测特性，能够检测电流波形、电压波形、有功功率的绝对值是否超过可编程阈值，通过配置 OVLVLEN 可以开启过流、过压、有功功率过载检测功能（必须先配置 InstanEN=1）。该特性使用瞬时电流、电压信号和有功功率值。

与该特性相关的有 4 个寄存器：OVLVL、OIALVL、OIBLVL、OPLVL，分别用于设置电压、电流通道 A、电流通道 B、有功功率功率阈值，是无符号寄存器，寄存器的默认值为 0xFFFF，与 WaveIA、WaveIB、WaveU、InstanP 的高 17 位对齐，运算方式为{1'b0,LVL}-abs(Data[最高位:最高位-16])；默认情况下，该特性禁用。如果 CSE7761 检测到过流、过压、功率过大的条件，OxIF/RoxIF 就会输出相相应的电平，读取 RoxIF 之后相应 OxIF 和 RoxIF 的会被清 0，如果对应的中断使能信号打开，会产生出中断信号通过 IRQ 输出。

电流通道 A 过流阈值计算有两种方式：施加实际电流计算过流阈值或通过理论公式计算过流阈值，电流通道 A 过流阈值计算举例：

1. 若在电流通道 A 施加 5A 电流时 RmsIA 寄存器的值为 RmsIA=0C49BAH(连续读取多次的平均值)，电流通道 A 过流电流设置为 10.5A；OIALVL 计算公式如下：

$$OIALVL=RmsIA/5*10.2*\sqrt{2}/2^7=46E6H。$$

RmsIA/5*10.2：为 10.2A 时 RmsIA 的寄存器值；

RmsIA/5*10.2*\sqrt{2}：为 10.2A 时对应的峰值；

2^7：是把计算出的结果右移 7 位。

2. 电流通道 A 过流阈值还可以直接通过理论的方式计算得出：

$$OIALVL=IA*R*1.5*PGAIA/Vref*2^{16}。$$

IA：需要设置的过流电流有效值，单位为 A。

R：电流通道 A 的采样电阻，单位为 Ω ；

PGAIA：电流通道 A 的 PGA 放大倍数，默认为 16；

Vref：芯片基准电压输出，单位为 V，典型值为 1.25V；

*2¹⁶：OIALVL 的寄存器位宽为 16 位；

从上述计算公式可以看出，施加实际的电流计算过流阈值，可以消除采样电阻 R、PGA 放大倍数、芯片基准 Vref 误差的影响。电流通道 B 过流阈值和电压通道过压阈值计算方式和电流通道 A 类似。

有功功率过载阈值计算也有两种方式：施加实际电流和电压计算过载阈值或通过理论公式计算有功功率过载阈值，有功功率过载阈值计算举例：

1. 若在电流通道 A 在施加电流和电压，功率因数为 1，有功功率为 1000W 时，PowerPA 寄存器的值为 PowerPA=2F23872H(连续读取多次的平均值)，有功功率过载设置为 10500W；OPLVL 计算公式如下：

$$OPLVL=PowerA/10500*1000/2^{15}=3AECH。$$

PowerA/10500*1000：为 10500W 时 PowerPA 的寄存器值；

/2¹⁵：是把计算出的结果右移 15 位。

2. 有功功率过载阈值还可以直接通过理论的方式计算得出：

$$OPLVL=IA*Ria*U*Ru*2.25*PGAIA*PGAU/Vref^2*2^{16}。$$

- IA: 需要设置的有功过流过载对应的电流有效值, 单位为 A。
- IA: 需要设置的有功过流过载对应的电压有效值, 单位为 V。
- Ria : 电流通道 A 的采样电阻, 单位为 Ω ;
- Ru : 电压通道的采样电阻比例, 典型值为 $1k\Omega / (1M\Omega + 1k\Omega)$;
- PGAIA : 电流通道 A 的 PGA 放大倍数, 默认为 16;
- PGAU : 电压通道的 PGA 放大倍数, 默认为 1;
- Vref : 芯片基准电压输出, 单位为 V, 典型值为 1.25V;
- *2^16: OPLVL 的寄存器位宽为 16 位;

从上述计算公式可以看出, 施加实际的电流、电压计算有功功率过载阈值, 可以消除采样电阻 Ria/Ru、PGAIA 和 PGAU 放大倍数、芯片基准 Vref 误差的影响。

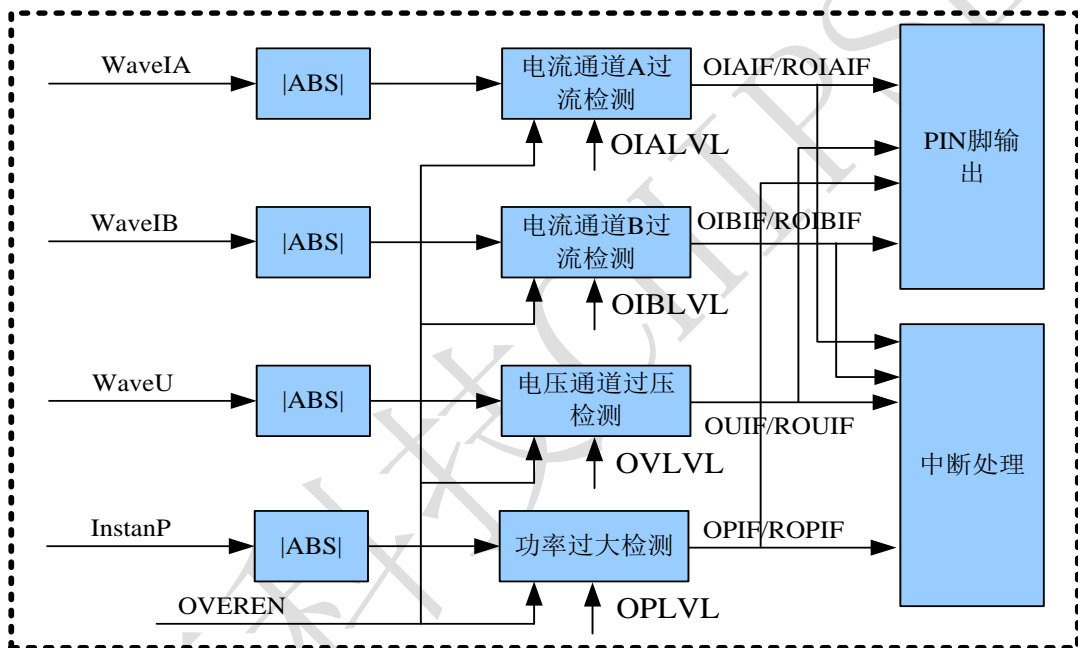


图 2-14 过压过流功率过载检测框图

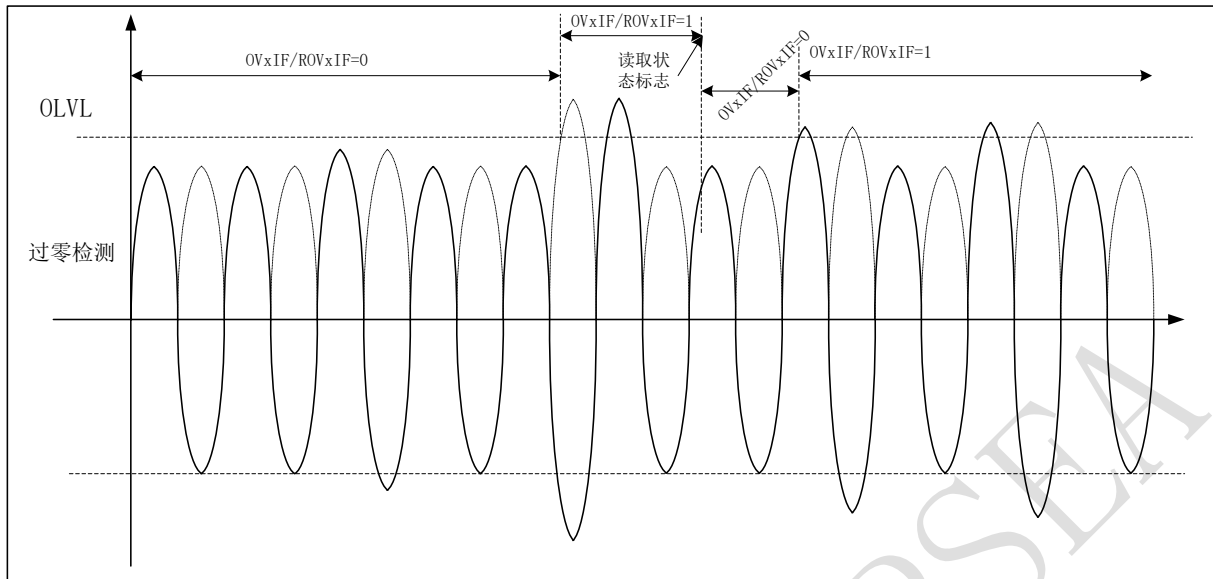


图 2-15 过压过流功率过载检测示意图

如图所示，有功功率过载检测与电压、电流的检测方法一致，只不过功率是直流信号。

2.12 电压骤降检测(先打开瞬时数据功能)

CSE7761 具有电压骤降检测特性，通过配置 SAGEN 可以开启电压骤降检测功能（必须先配置 InstanEN=1），当线电压绝对值降至可编程的阈值以下并持续可编程数量的线周期时，就会提醒用户。该特性可以提供线电压丢失的早期预警信号。电压骤降特性由两个寄存器控制：SAGCYC(无符号数)和 SAGLVL(无符号数)。这些寄存器分别控制骤降周期和骤降电压阈值。如果发生电压骤降情况，骤降位 SAG 置 1，SAG 在读取之后会被清零。

设置 SAGCYC 寄存器：

16 位无符号 SAGCYC 寄存器包含可编程骤降周期，只有低 8 位有效。骤降周期指半波周期数，在该数量以下时，电压通道必须保持不变，只有超过或等于该数量才视为发生骤降情况。SAGCYC 寄存器的 1 LSB 对应 1 个半波周期。SAGCYC 寄存器的最大值为 255。

在 50 Hz 时，最长骤降周期时间为 2.55 秒。

在 60 Hz 时，最长骤降周期时间为 2.125 秒。

使能该特性后，如果更改 SAGCYC 值，新的 SAGCYC 周期立即生效。因此，骤降事件可以由多个骤降周期的组合引发。将新的周期值写入 SAGCYC 寄存器之前，为防止重叠，应将 SAGLVL 寄存器复位为 0，从而有效禁用该特性。

设置 SAGLVL 寄存器：

16 位 SAGLVL 寄存器包含电压幅度值，电压通道必须降至该幅度以下才可能发生骤降事件。该寄存器的每个 LSB 精确映射到电压通道峰值寄存器，因此，可以根据电压通道的峰值读数设置幅度。要设置 SAGLVL 寄存器，应施加标称电压。等待数个线周期后，读取 PeakU 寄存器，确定电压输入，然后将该读数缩放到骤降检测所需的幅度。例如，如果要求骤降阈值为标称电压的 80%，则应获得峰值读数，并将等于此读数 80% 的值写入 SAGLVL 寄存器。这种方法可以确保特定设计获得精确的 SAGLVL 值。

电压骤降中断:

CSE7761 的电压骤降检测特性有一个相关的中断 SAGIF。如果使能该中断，则电压骤降事件会使外部 IRQ 引脚变为低电平。该中断默认禁用。

电压通道欠压阈值计算有两种方式：施加实际电压计算欠压阈值或通过理论公式计算欠压阈值，电压欠压阈值计算举例：

1. 若在电压通道施加 220V 电压时 RmsU 寄存器的值为 RmsU=21C21CH(连续读取多次的平均值)，电压欠压设置为 220V*60%=132V；SAGLVL 计算公式如下：

$$SAGLVL = RmsU / 220 * 132 * \sqrt{2} / 2^7 = 394AH。$$

RmsU/220*132：为 132V 时 RmsU 的寄存器值；

RmsU/220*132*sqrt(2)：为 132V 时对应的峰值；

2^7：是把计算出的结果右移 7 位。

2. 电压通道欠压阈值还可以直接通过理论的方式计算得出：

$$SAGLVL = U * Ru * 1.5 * PGAU / Vref * 2^{16}。$$

U：需要设置的电压欠压有效值，单位为 V；

Ru：电压通道的采样电阻比例，典型值为 1kΩ / (1MΩ + 1kΩ)；

PGAU：电流通道 A 的 PGA 放大倍数，默认为 1；

Vref：芯片基准电压输出，单位为 V，典型值为 1.25V；

*2^16：SAGLVL 的寄存器位宽为 16 位；

从上述计算公式可以看出，施加实际的电流计算过流阈值，可以消除采样电阻 Ru、PGAU 放大倍数、芯片基准 Vref 误差的影响。

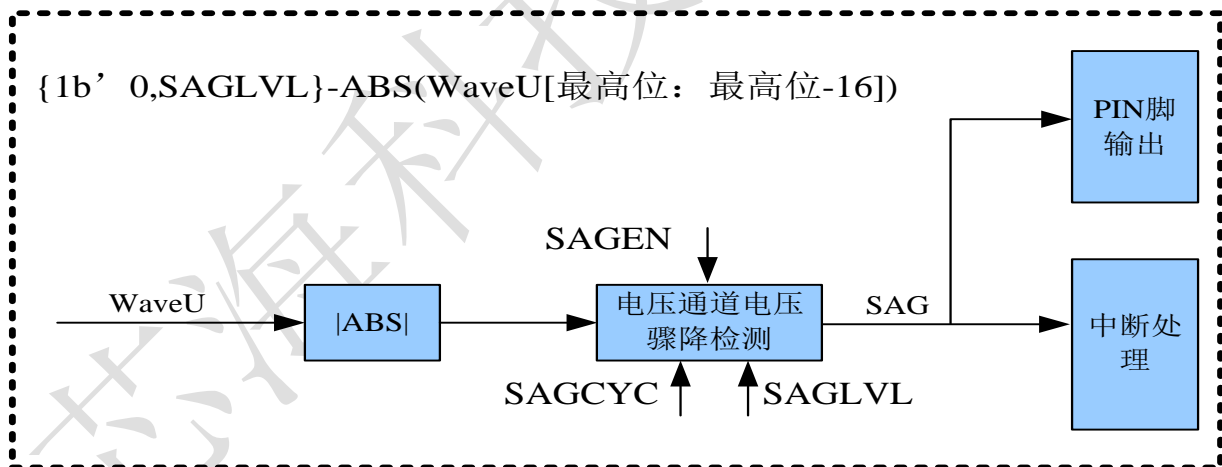


图 2-16 电压骤降检测框图

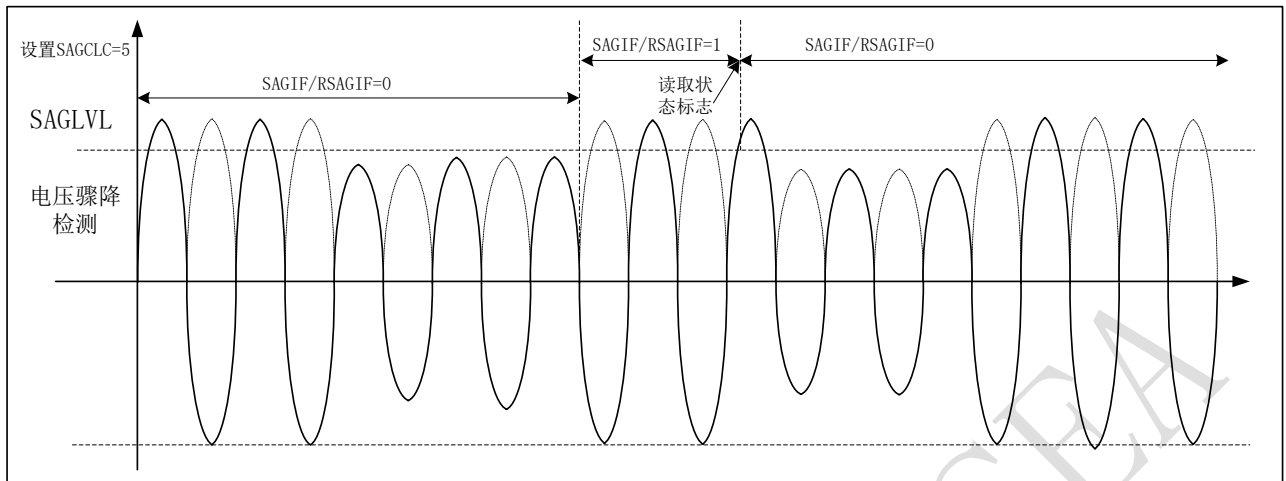


图 2-17 电压骤降检测示意图

2.13 均值信号

CSE7761 提供均值信号，这些信号包括：电流通道 A 有效值、电流通道 B 有效值、电压有效值、通道 A 有功功率、通道 B 有功功率、视在功率和功率因数，除了有功功率和视在功率的寄存器是 32 位带符号寄存器之外，其他均值寄存器都是 24 位带符号寄存器。所有测量结果以同一种速率更新，更新速率可选：3.4Hz、6.8Hz、13.6Hz、27.2Hz。

CSE7761 提供一个均值中断状态位，使得测量能够与均值信号更新速率同步，该状态位读取之后会被清零。

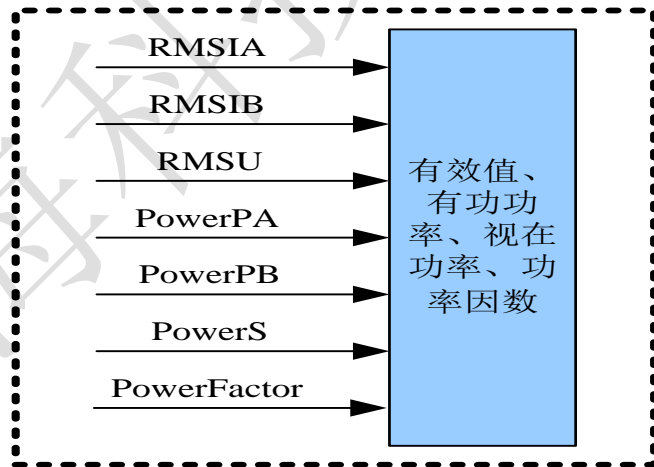


图 2-18 均值数据框图

2.14 瞬时信号和波形采样

CSE7761 除了提供瞬时电压有效值、电流有效值、有功功率、视在功率以外（通过配置 INSTANEN 可以开启瞬数据输出功能），CSE7761 还能提供电压和电流通道的波形数据（通过配置 WAVEEN 可以开启瞬数据输出功能）。利用这些信息可以更详细地分析瞬时数据，包括重构电流和电

压输入以进行谐波分析。

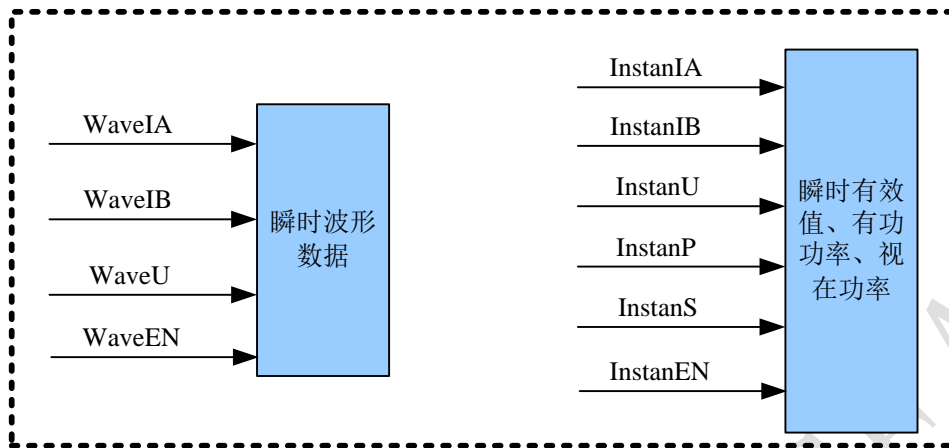


图 2-19 瞬时信号和波形数据框图

瞬时电压有效值、电流有效值和瞬时波形数据测量结果通过一组 24 位带符号寄存器提供，瞬时有功功率和视在功率通过一组 32 位带符号寄存器提供。所有测量结果均以 6.99 KHz(CLKIN/512)的速率更新。

CSE7761 提供一个瞬时中断状态位，它以 6.99 KHz 的速率触发，使得测量能够与瞬时信号更新速率同步，该状态位读取之后会被清零。

2.15 温度传感器

CSE7761 电流通道 B 还提供内部温度检测，可以将温度传感器输出的电压值经过 ADC 和数字滤波转换为 24 位的 AD 值存储在 RmsIB 寄存器里。

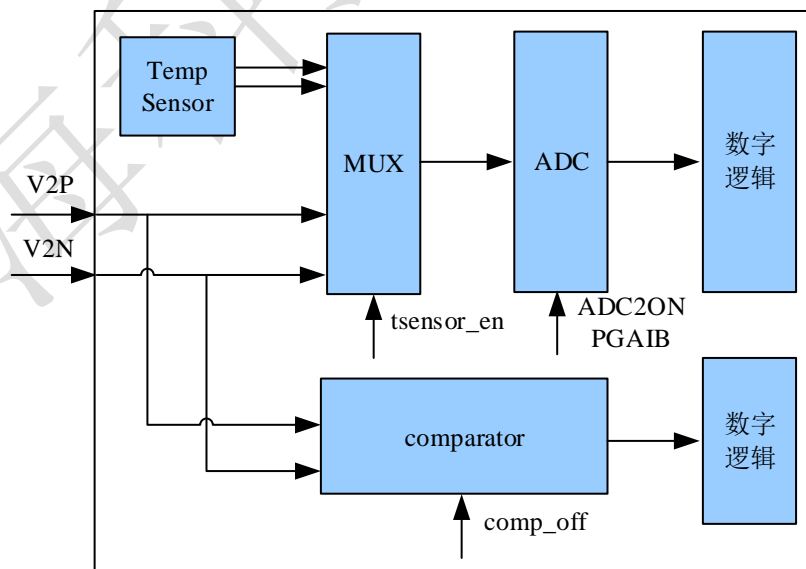


图 2-20 温度传感器测量框图

CSE7761 温度传感器的标定步骤如下：

1. 配置 ADC2ON=1(打开 B 通道 ADC)、PGAIB[2:0]=000B;
2. 配置 tensor_en=1(开启测温模块)、HPFIBOFF=1 (关闭 B 通道高通滤波器);
3. 配置 Tsensor_Step[1:0]=00B,读取 RmsIB 寄存器值(建议连续读取 4 次求平均), 寄存器值记录为 D1;
4. 配置 Tsensor_Step[1:0]=01B,读取 RmsIB 寄存器值(建议连续读取 4 次求平均), 寄存器值记录为 D2;
5. 配置 Tsensor_Step[1:0]=10B,读取 RmsIB 寄存器值(建议连续读取 4 次求平均), 寄存器值记录为 D3;
6. 配置 Tsensor_Step[1:0]=11B,读取 RmsIB 寄存器值(建议连续读取 4 次求平均), 寄存器值记录为 D4;
7. 把 D1、D2、D3、D4 相加求平均得到 D0: $D0=(D1+D2+D3+D4)/4$;

由于工艺参数变化, 温度传感器需要进行标定。标定方法如下:

设置标定温度为 T_c (单位 $^{\circ}\text{C}$, 比如 25°C), 根据步骤 3-7 得到的平均值为 D_c , 保存 D_c 值于存储单元中。那么温度系数 $Tr=D_c/(273.15+T_c)$ 。

在实际使用时, 根据步骤 3-7 测试得到当前温度下的平均值 D , 则根据下面公式计算得到当前温度 (单位 $^{\circ}\text{C}$)。

$$T = \frac{D(T_c + 273.15)}{D_c} - 273.15$$

2.16 比较器

CSE7761 电流通道 B 还可以作为比较器的信号输入, 当输入信号的峰峰值超过内部比较器设定的阈值, 比较器就会输出高电平, 比较器输出的信号 comp_sign 可通过 pulse1/pulse2 IO 直接输出, 也可以通过中断输出。

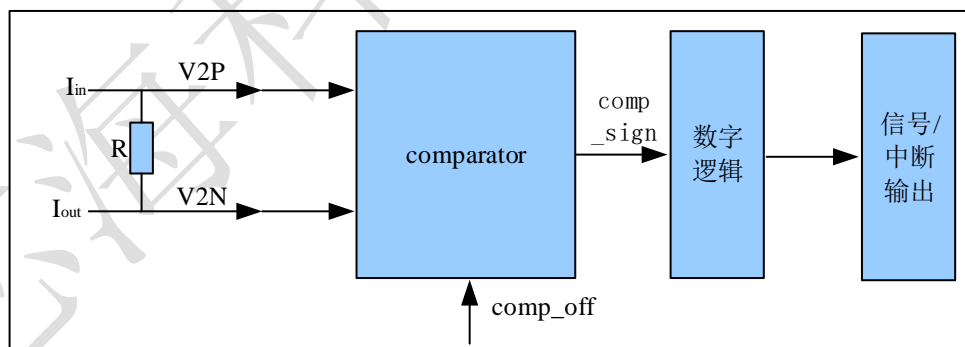


图 2-21 比较器测量框图

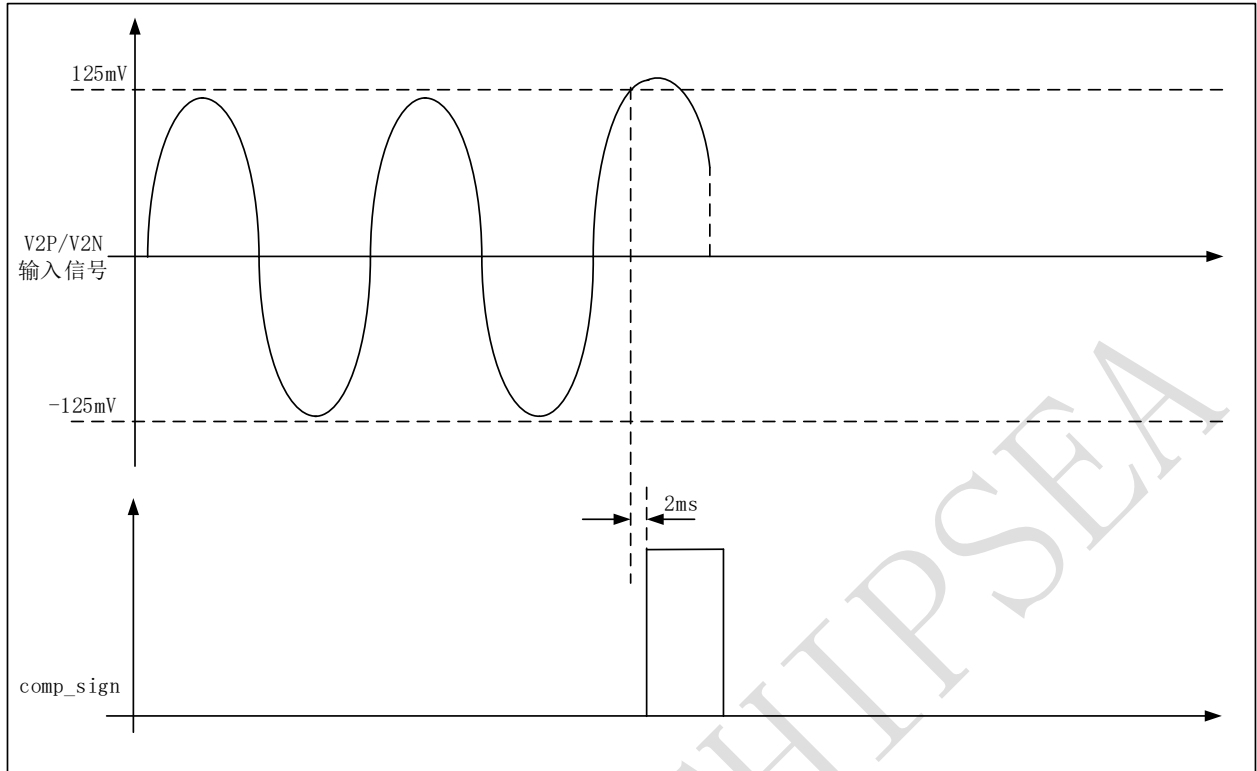


图 2-22 比较器 comp_sign 输出示意图

CSE7761 比较器使用步骤如下：

1. 配置 P1sel 或 P2sel=010B，通过 pulse1 或 pluse2 输出 comp_sign。
2. 配置 comp_off=1(比较器处于工作状态)。

当检测到 comp_sign 信号为高电平之后，需要断开外部电源，CSE7761 重新上电才能正常工作。

3 寄存器说明

CSE7761 寄存器列表如下表所示:

表 3-1 CSE7761 寄存器列表

| 地址 | 名称 | 字长 | 复位值 | 功能描述 | 写保护 | R/W |
|--------------|-----------|----|---------|---|-----|-----|
| 校表参数和计量控制寄存器 | | | | | | |
| 00H | SYSCON | 2 | 0A04h | 系统控制寄存器 | Yes | R/W |
| 01H | EMUCON | 2 | 0000h | 计量控制寄存器 | Yes | R/W |
| 02H | HFCnst | 2 | 1000h | 脉冲频率寄存器 | Yes | R/W |
| 03H | PstartPA | 2 | 0060h | 通道 A 有功起动功率设置 | Yes | R/W |
| 04H | PstartPB | 2 | 0060h | 通道 B 有功起动功率设置 | Yes | R/W |
| 05H | PAGain | 2 | 0000h | 通道 A 功率增益校准寄存器 | Yes | R/W |
| 06H | PBGain | 2 | 0000h | 通道 B 功率增益校准寄存器 | Yes | R/W |
| 07H | PhaseA | 1 | 00h | 通道 A 相位校准寄存器 | Yes | R/W |
| 08H | PhaseB | 1 | 00h | 通道 B 相位校准寄存器 | Yes | R/W |
| 0AH | PAOS | 2 | 0000h | 通道 A 有功功率 Offset 校准 | Yes | R/W |
| 0BH | PBOS | 2 | 0000h | 通道 B 有功功率 Offset 校准 | Yes | R/W |
| 0EH | RmsIAOS | 2 | 0000h | 电流通道 A 有效值 Offset 补偿 | Yes | R/W |
| 0FH | RmsIBOS | 2 | 0000h | 电流通道 B 有效值 Offset 补偿 | Yes | R/W |
| 10H | IBGain | 2 | 0000h | 电流通道 B 增益设置 | Yes | R/W |
| 11H | PSGain | 2 | 0000h | 视在功率增益校准 | Yes | R/W |
| 12H | PSOS | 2 | 0000h | 视在功率 Offset 补偿 | Yes | R/W |
| 13H | EMUCON2 | 2 | 0001h | 计量控制寄存器 2 | Yes | R/W |
| 17H | SAGCYC | 2 | 0000h | 电压骤降周期设置 | Yes | R/W |
| 18H | SAGLVL | 2 | 0000h | 电压骤降阈值设置 | Yes | R/W |
| 19H | OVLVL | 2 | FFFFh | 电压过压阈值设置 | Yes | R/W |
| 1AH | OIALVL | 2 | FFFFh | 电流通道 A 过流阈值设置 | Yes | R/W |
| 1BH | OIBLVL | 2 | FFFFh | 电流通道 B 过流阈值设置 | Yes | R/W |
| 1CH | OPLVL | 2 | FFFFh | 有功功率过载阈值设置 | Yes | R/W |
| 1DH | Pulse1SEL | 2 | 3210h | PulseX pin 脚输出信号选择: X=1~2 Pulse1 默认是输出 PFA Pulse2 默认是输出 PFB | Yes | R/W |
| 计量参数和状态寄存器 | | | | | | |
| 20H | PFCnt_PA | 2 | 0000h | 通道 A 快速组合有功脉冲计数 | Yes | R/W |
| 21H | PFCnt_PB | 2 | 0000h | 通道 B 快速组合有功脉冲计数 | Yes | R/W |
| 22H | Angle | 2 | 0000h | 电流与电压之间的相角, 通过命令选择: 电流通道 A 与电压通道的相角或电流通道 B 与电压通道的相角 | - | R |
| 23H | Ufreq | 2 | 0000h | 电压频率 | - | R |
| 24H | RmsIA | 3 | 000000h | 通道 A 电流的有效值 | - | R |

| | | | | | | |
|---------|--------------|---|-----------|--|-----|-----|
| 25H | RmsIB | 3 | 000000h | 通道 B 电流的有效值 | - | R |
| 26H | RmsU | 3 | 000000h | 电压有效值 | - | R |
| 27H | PowerFactor | 3 | 7FFFFFFh | 功率因数寄存器，通过命令选择：通道 A 的功率因数或通道 B 的功率因数 | - | R |
| 28H | Energy_PA | 3 | 000000h | 通道 A 有功电能，默认为读后清零，可配置为读后不清零 | - | R |
| 29H | Energy_PB | 3 | 000000h | 通道 B 有功电能，默认为读后清零，可配置为读后不清零 | - | R |
| 2CH | PowerPA | 4 | 00000000h | 通道 A 有功功率，更新速率 3.4Hz、6.8Hz、13.6Hz、27.2Hz | - | R |
| 2DH | PowerPB | 4 | 00000000h | 通道 B 有功功率，更新速率 3.4Hz、6.8Hz、13.6Hz、27.2Hz | - | R |
| 2EH | PowerS | 4 | 00000000h | 视在功率，通过命令选择通道 A 或通道 B 的视在功率，更新速率 3.4Hz、6.8Hz、13.6Hz、27.2Hz | - | R |
| 2FH | EMUStatus | 3 | 00B32Fh | 计量状态及校验和寄存器 | - | R |
| 30H | PeakIA | 3 | 000000h | 电流通道 A 的峰值 | - | R |
| 31H | PeakIB | 3 | 000000h | 电流通道 B 的峰值 | - | R |
| 32H | PeakU | 3 | 000000h | 电压通道 U 的峰值 | - | R |
| 33H | InstanIA | 3 | 000000h | 电流通道 A 瞬时值 | - | R |
| 34H | InstanIB | 3 | 000000h | 电流通道 B 瞬时值 | - | R |
| 35H | InstanU | 3 | 000000h | 电压通道瞬时值 | - | R |
| 36H | WaveIA | 3 | 000000h | 电流通道 A 波形 | - | R |
| 37H | WaveIB | 3 | 000000h | 电流通道 B 波形 | - | R |
| 38H | WaveU | 3 | 000000h | 电压通道道波 | - | R |
| 3CH | InstanP | 4 | 00000000h | 有功功率瞬时值，通过命令选择通道 A 或通道 B 的有功功率瞬时值， | - | R |
| 3DH | InstanS | 4 | 00000000h | 视在功率瞬时值，通过命令选择通道 A 或通道 B 的实在功率瞬时值， | - | R |
| 中断寄存器 | | | | | | |
| 40H | IE | 2 | 0000h | 中断允许寄存器 | Yes | R/W |
| 41H | IF | 2 | 0000h | 中断标志寄存器（不可写） | - | R |
| 42H | RIF | 2 | 0000h | 复位中断状态寄存器 | - | R |
| 系统状态寄存器 | | | | | | |
| 43H | SysStatus | 1 | -- | 系统状态寄存器 | - | R |
| 44H | RDATA | 4 | -- | 上一次 SPI 读出的数据 | - | R |
| 45H | WDATA | 2 | -- | 上一次 SPI 写入的数据 | - | R |
| 6FH | Coeff_chksum | 2 | xxxxh | 系数校验和 | - | R |
| 70H | RmsIAC | 2 | xxxxh | 电流通道 A 有效值转换系数 | - | R |
| 71H | RmsIBC | 2 | xxxxh | 电流通道 B 有效值转换系数 | - | R |
| 72H | RmsUC | 2 | xxxxh | 电压通道 U 有效值转换系数 | - | R |
| 73H | PowerPAC | 2 | xxxxh | 电流通道 A 有功功率转换系数 | - | R |

| | | | | | | |
|-----|----------|---|---------|-----------------|---|---|
| 74H | PowerPBC | 2 | xxxxh | 电流通道 B 有功功率转换系数 | - | R |
| 75H | PowerSC | 2 | xxxxh | 视在功率转换系数 | - | R |
| 76H | EnergyAC | 2 | xxxxh | A 通道能量转换系数 | - | R |
| 77H | EnergyBC | 2 | xxxxh | B 通道能量转换系数 | - | R |
| 7FH | DeviceID | 3 | 776110h | 芯片 ID | - | R |

注：有写保护的寄存器，在向该寄存器写输入数据时，要先写“写使能命令”。
在列表中未列出的地址都是 16Bit 的，不可写，读数为 0(地址为 6EH 的寄存器读数为 FFFFH)；

3.1 校表参数寄存器

3.1.1 系统控制寄存器

| SYSTEM Control Register (SYSCON) Addr:0x00H 默认值: 0A04H | | |
|--|------------|---|
| 位 | 名称 | 功能描述 |
| 15-11 | NC | -, 默认为 1 |
| 10 | ADC2ON | =1, 表示 ADC 电流通道 B 开启 =0, 表示 ADC 电流通道 B 关闭 |
| 9 | NC | -, 默认为 1. |
| 8-6 | PGAIB[2:0] | 电流通道 B 模拟增益选择最高位 PGAIB[2:0]=1XX, 电流通道 B 的 PGA=16 PGAIB[2:0]=011, 电流通道 B 的 PGA=8 PGAIB[2:0]=010, 电流通道 B 的 PGA=4 PGAIB[2:0]=001, 电流通道 B 的 PGA=2 PGAIB[2:0]=000, 电流通道 B 的 PGA=1 |
| 5-3 | PGAU[2:0] | 电压通道模拟增益选择最高位 PGAU[2:0]=1XX, 电流通道 U 的 PGA=16 PGAU[2:0]=011, 电流通道 U 的 PGA=8 PGAU[2:0]=010, 电流通道 U 的 PGA=4 PGAU[2:0]=001, 电流通道 U 的 PGA=2 PGAU[2:0]=000, 电流通道 U 的 PGA=1 |
| 2-0 | PGAIA[2:0] | 电流通道 A 模拟增益选择最高位 PGAIA[2:0]=1XX, 电流通道 A 的 PGA=16 PGAIA[2:0]=011, 电流通道 A 的 PGA=8 PGAIA[2:0]=010, 电流通道 A 的 PGA=4 PGAIA[2:0]=001, 电流通道 A 的 PGA=2 PGAIA[2:0]=000, 电流通道 A 的 PGA=1 |

3.1.2 计量控制寄存器

| Energy Measure Control Register(EMUCON) Addr:0x01H 默认值: 0000H | | |
|---|-------------------|--|
| 位 | 名称 | 功能描述 |
| 15-14 | Tsensor_Step[1:0] | 温度 Sensor 的测量步骤： =2'b00 温度 Sensor 的测量第一步，OP1，OP2 的 Offset 为+/-。 =2'b01 温度 Sensor 的测量第二步，OP1，OP2 的 Offset 为+/-。 =2'b10 温度 Sensor 的测量第三步，OP1，OP2 的 Offset 为+/-。 =2'b11 温度 Sensor 的测量第四步，OP1，OP2 的 Offset 为+/-。 测量完这四个结果在进行平均即可得出当前被测温度的 AD 值。 |

| | | |
|-------|------------|--|
| 13 | tensor_en | 测温模块控制 =0 时测温模块关闭； =1 时测温模块开启； |
| 12 | comp_off | 比较器模块关闭信号： =0 时比较器模块处于工作状态 =1 时比较器模块处于关闭状态 |
| 11-10 | Pmode[1:0] | 有功电能计算方式选择： Pmode =00,正反向有功电能都参与累加，累加方式是代数和方式，反向有功功率有 REVQ 符号指示； Pmode =01，只累加正向有功电能； Pmode =10，正反向有功电能都参与累加，累加方式是绝对值方式，无反向有功功率指示； Pmode =11，保留，模式与 Pmode =00 相同 |
| 9 | NC | - |
| 8 | ZXD1 | ZX 输出初始值为 0，根据 ZXD1 和 ZXD0 的配置输出不同的波形： =0，表示仅在选择的过零点处 ZX 输出发生变化 =1，表示在正向和负向过零点处 ZX 输出均发生变化 |
| 7 | ZXD0 | =0，表示选择正向过零点作为过零检测信号 =1，表示选择负向过零点作为过零检测信号 |
| 6 | HPFIBOFF | =0，使能电流通道 B 数字高通滤波器 =1，关闭电流通道 B 数字高通滤波器 |
| 5 | HPFIAOFF | =0，使能电流通道 A 数字高通滤波器 =1，关闭电流通道 A 数字高通滤波器 |
| 4 | HPFUOFF | =0，使能 U 通道数字高通滤波器 =1，关闭 U 通道数字高通滤波器 |
| 3-2 | NC | - |
| 1 | PBRUN | PBRUN=1，使能PFB脉冲输出和有功电能寄存器累加； PBRUN=0(默认)，关闭 PFB 脉冲输出和有功电能寄存器累加。 |
| 0 | PARUN | PARUN=1，使能PFA 脉冲输出和有功电能寄存器累加； PARUN=0(默认)，关闭 PFA 脉冲输出和有功电能寄存器累加。 |

3.1.3 计量控制寄存器 2

| Energy Measure Control Register(EMUCON2) Addr:0x13H 默认值: 0001H | | | | |
|--|-------------|--|------|--------|
| 位 | 名称 | 功能描述 | | |
| 15-13 | NC | - | | |
| 12 | SDOCmos | =1, SDO 引脚 CMOS 开漏输出 =0, SDO 引脚 CMOS 输出 | | |
| 11 | EPB_CB | Energy_PB 清除信号控制，默认为 0，在 UART 模式下需配置为 1，UART 模式下不支持读后清零 =1 时 Energy_PB 读后不清零； =0 时 Energy_PB 读后清零； | | |
| 10 | EPA_CB | Energy_PA 清除信号控制，默认为 0，在 UART 模式下需配置为 1，UART 模式下不支持读后清零 =1 时 Energy_PA 读后不清零； =0 时 Energy_PA 读后清零； | | |
| 9-8 | DUPSEL[1:0] | 均值寄存器更新频率控制 | | |
| | | DUPSEL | 更新频率 | DUPSEL |

| | | | | | |
|---|-----------|--|-------|----|---------|
| | | 00 | 3.4Hz | 10 | 13.65Hz |
| | | 01 | 6.8Hz | 11 | 27.3Hz |
| 7 | CHS_IB | 电流通道 B 测量选择信号 =1, 测量 B 通道电流 =0, 测量芯片内部温度 | | | |
| 6 | PfactorEN | 功率因数功能使能 =1, 打开功率因数输出功能 =0, 关闭功率因数输出功能 | | | |
| 5 | WaveEN | 波形数据、瞬时数据输出使能信号 =1, 打开波形数据输出功能 =0, 关闭波形数据输出功能 | | | |
| 4 | SAGEN | 电压跌落检测使能信号，需先配置 WaveEN=1 =1, 打开电压跌落检测功能 =0, 关闭电压跌落检测功能 | | | |
| 3 | OverEN | 过压、过流、过载检测使能信号，需先配置 WaveEN=1 =1, 打开过压、过流、过载检测功能 =0, 关闭过压、过流、过载检测功能 | | | |
| 2 | ZxEN | 过零检测、相角、电压频率测量使能信号 =1, 打开过零检测、相角、电压频率测量功能 =0, 关闭过零检测、相角、电压频率测量功能 | | | |
| 1 | PeakEN | 峰值检测使能信号 =1, 打开峰值检测功能 =0, 关闭峰值检测功能 | | | |
| 0 | NC | 默认为 1 | | | |

3.1.4 脉冲频率寄存器

| | | | |
|---------------|---------------------------|----------------|------|
| HFCnst | 地址:0x02H 默认值:1000H | | |
| W/R | Bit15 | Bit14.....Bit1 | Bit0 |

HFCnst是16位无符号数，做比较时，将其与快速脉冲计数寄存器PFCNT寄存器值做比较，如果大于等于HFCnst的值，那么就会有PF脉冲输出。注：HFCnst的值最大只能到16'hfff。

3.1.5 无负载有功功率（潜动与启动）阈值寄存器 PstartPA、PstartPB

| | | | |
|-----------------|---------------------------|----------------|------|
| PstartPA | 地址:0x03H 默认值:0060H | | |
| W/R | Bit15 | Bit14.....Bit1 | Bit0 |

| | | | |
|-----------------|---------------------------|----------------|------|
| PstartPB | 地址:0x04H 默认值:0060H | | |
| W/R | Bit15 | Bit14.....Bit1 | Bit0 |

无负载有功功率由 PstartPA、PstartPB 寄存器配置，PstartPA、PstartPB 是 16 位无符号数，做比较时，将其与 PowerPA、PowerPB(为 32bit 有符号数)的高 24 位的绝对值进行比较，以做起动判断；|PowerP|小于 Pstart 时就认为是有功潜动。在有功潜动状态下，PFA、PFB 无输出、能量寄存器不更新 (Energy_PA、Energy_PB)、功率因数变为 7FFFFFFF(PF=1.0)，但是两路有功功率寄存器、两路电流寄存

器、电压寄存器、视在功率寄存器的值维持正常输出。

为提高灵敏度，该数值也可以设定为行业标准规定的起动功率要求的 50%。

3.1.6有功功率和视在功率增益校正寄存器

| PAGain | | 地址:0x05H 默认值:0000H | |
|--------|-------|--------------------|------|
| W/R | Bit15 | 14……1 | Bit0 |

| PBGain | | 地址:0x06H 默认值:0000H | |
|--------|-------|--------------------|------|
| W/R | Bit15 | 14……1 | Bit0 |

| PSGain | | 地址:0x11H 默认值:0000H | |
|--------|-------|--------------------|------|
| W/R | Bit15 | 14……1 | Bit0 |

包括三个寄存器：PAGain、PBGain 和 PSGain，为二进制补码格式，最高位为符号位。PAGain 用于电流通道 A 和电压通道有功功率的增益校准；PBGain 用于电流通道 B 和电压通道有功功率的增益校准；PSGain 用于选择计量能量那一路的视在功率的增益校准；

PAGain 和 PAGain 的校准范围为±100%。PSGain 的校准范围受 PAGain 或 PBGain 的限制：

$-100\% \leq \text{PSGain} + \text{PAGain}$ (当通道选择为电流通道 A 时) 或 $\text{PSGain} + \text{PBGain}$ (当通道选择为电流通道 B 时) $\leq +100\%$ 。例如 PAGain=16'hFAFB 时，PSGain 可以正增益到 16'h7FFF 为最大,负增益到 16'h8505 为最小，当 16'h8504 就会造成溢出。

校准之前，功率值为 P0，校准之后 $P1 = P0 * (1 + \text{Gain} / 2^{15})$ 。

对于电流通道 A，Gain=PAGain；

对于电流通道 B，Gain=PBGain；

对于视在功率，Gain=PSGain+PAGain 或 PSGain+PBGain。

3.1.7相位校正寄存器

| PhaseA | | 地址:0x07H 默认值:00H | |
|--------|------|------------------|--|
| W/R | Bit7 | Bit6…Bit0 | |
| | 符号位 | 数据位 | |

| PhaseB | | 地址:0x08H 默认值:00H | |
|--------|------|------------------|--|
| W/R | Bit7 | Bit6…Bit0 | |
| | 符号位 | 数据位 | |

PhaseA 是电流通道 A 和电压通道 U 的相位校正寄存器，PhaseB 是电流通道 B 和电压通道 U 的相位校正寄存器。这两个寄存器均为带符号二进制补码，其中 Bit7 为符号位，在 50Hz 时相位校准范围： $-2.575^\circ \sim +2.575^\circ$ ，在 60Hz 时相位校准范围： $-3.09^\circ \sim +3.09^\circ$ 。

1 LSB 代表 $1/895\text{KHz}=1.12\mu\text{s}/\text{LSB}$ 的延时，在 50Hz 下，1 LSB 代表 $1.12\text{ us} \times 360\text{ 度} \times 50/10^6 = 0.0201\text{ 度}/\text{LSB}$ ；在 60Hz 下，1 LSB 代表 $1.12\text{ us} \times 360\text{ 度} \times 60/10^6 = 0.0241\text{ 度}/\text{LSB}$ 。

3.1.8 有功功率和视在功率 Offset 校正寄存器

| PAOS | 地址:0x0AH 默认值:0000H | | |
|------|--------------------|-------|------|
| W/R | Bit15 | 14……1 | Bit0 |

| PBOS | 地址:0x0BH 默认值:0000H | | |
|------|--------------------|-------|------|
| W/R | Bit15 | 14……1 | Bit0 |

| PSOS | 地址:0x12H 默认值:0000H | | |
|------|--------------------|-------|------|
| W/R | Bit15 | 14……1 | Bit0 |

有功 Offset 校准适合小信号的精度校准。这三个寄存器均为二进制补码格式，最高位为符号位。

PAOS 寄存器为电流通道 A 和 U 通道有功功率 Offset 校准值；PBOS 寄存器为电流通道 B 和 U 通道有功功率 Offset 校准值。

PSOS 寄存器为视在功率的 Offset 校准值。

3.1.9 电流有效值 Offset 校正寄存器

| RmsIAOS | 地址:0x0EH 默认值:0000H | | |
|---------|--------------------|-------------|------|
| W/R | Bit15 | Bit14……Bit1 | Bit0 |

| RmsIBOS | 地址:0x0FH 默认值:0000H 有写保护 | | |
|---------|-------------------------|-------------|------|
| W/R | Bit15 | Bit14……Bit1 | Bit0 |

有效值 Offset 校准寄存器用于电流有效值小信号精度的校准。这两个寄存器均为二进制补码格式，最高位为符号位。

RmsIAOS 寄存器为电流 A 有效值 Offset 校准值，RmsIBOS 寄存器为电流 B 有效值 Offset 校准值。

3.1.10 电流通道 B 增益寄存器

| IBGain | 地址:0x10H 默认值:0000H | | |
|--------|--------------------|-------------|------|
| W/R | Bit15 | Bit14……Bit1 | Bit0 |

电流通道 B 增益设置寄存器用于两路电流通道的一致性校正。一致性校正可在 $100\%I_b$ 进行一点校正。使用方法见校表方法。

通道 B 电流增益寄存器采用二进制补码形式，最高位为符号位，校准范围 $\pm 100\%$ 。

如果 $IBGain > 2^{15}$ ，则 $GainI2 = (IBGain - 2^{16}) / 2^{15}$ ，否则 $GainI2 = IBGain / 2^{15}$ 。

校正之前 I2a，校正之后 I2b，两者关系为： $I2b=I2a+I2a*GainI2$ 。

3.1.11 电压骤降设置寄存器

| SAGCYC | 地址:0x17H 默认值:0000H | | |
|--------|--------------------|-------------|------|
| W/R | Bit15 | Bit14……Bit1 | Bit0 |

| SAGLVL | 地址:0x18H 默认值:0000H | | |
|--------|--------------------|-------------|------|
| W/R | Bit23 | Bit22……Bit1 | Bit0 |

电压骤降特性由两个寄存器控制：SAGCYC(无符号数)和 SAGLVL(无符号数)。这些寄存器分别控制骤降周期和骤降电压阈值。

3.1.12 阈值设置寄存器

| OVLVL | 地址:0x19H 默认值:FFFFH | | |
|-------|--------------------|-------------|------|
| W/R | Bit15 | Bit14……Bit1 | Bit0 |

| OIALVL | 地址:0x1AH 默认值:FFFFH | | |
|--------|--------------------|-------------|------|
| W/R | Bit15 | Bit14……Bit1 | Bit0 |

| OIBLVL | 地址:0x1BH 默认值: FFFFH | | |
|--------|---------------------|-------------|------|
| W/R | Bit15 | Bit14……Bit1 | Bit0 |

| OPLVL | 地址:0x1CH 默认值: FFFFH | | |
|-------|---------------------|-------------|------|
| W/R | Bit15 | Bit14……Bit1 | Bit0 |

OVLVL、OIALVL、OIBLVL、OPLVL，分别用于设置电压、电流通 A、电流通 B、有功功率过载阈值(通道 A 和通道 B 共用一组过载阈值寄存器)，寄存器为无符号数，默认值为 0xFFFF，；默认情况下，该特性禁用。

如果 CSE7761 检测到过流、过压、功率过大的条件，OVIF/ROVIF、OIAIF/ROIAIF、OIBIF/ROIBIF、OPIF/ROPIF 就会输出相应的电平。

3.1.13 PIN 脚功能输出选择寄存器

| Pulse1SEL Addr:0x1DH 默认值: 3210H | | |
|---------------------------------|-------|-------------------------|
| 位 | 名称 | 功能描述 |
| 15-12 | NC | NC，默认值为 4'b0011 |
| 11-8 | NC | NC，默认值为 4'b0010 |
| 7-4 | P2Sel | Pulse2 Pin 脚输出功能选择，参见下表 |

| | | |
|-----|-------|-------------------------|
| 3-0 | P1Sel | Pulse1 Pin 脚输出功能选择，参见下表 |
|-----|-------|-------------------------|

表 3-2 Pulsex 功能输出选择列表

| Pxsel | 选择描述 |
|-------|-------------------------------|
| 0000 | 电能计量校准脉冲 PFA 的输出 |
| 0001 | 电能计量校准脉冲 PFB 的输出 |
| 0010 | 比较器指示信号 comp_sign |
| 0011 | 中断信号 IRQ 输出（默认是高电平，如果是中断则置 0） |
| 0100 | 功率过载的信号指示：只能选择 PA 或 PB |
| 0101 | 通道 A 负功率指示信号 |
| 0110 | 通道 B 负功率指示信号 |
| 0111 | 瞬时值更新中断输出 |
| 1000 | 均值更新中断输出 |
| 1001 | 电压通道过零信号输出 |
| 1010 | 电流通道 A 过零信号输出 |
| 1011 | 电流通道 B 过零信号输出 |
| 1100 | 电压通道过压指示信号输出 |
| 1101 | 电压通道欠压指示信号输出 |
| 1110 | 电流通道 A 过流信号指示输出 |
| 1111 | 电流通道 B 过流信号指示输出 |

3.2 计量参数寄存器

3.2.1 快速有功电能脉冲计数器

| | | | |
|-----------------|---------------------------|-------|------|
| PFCnt_PA | 地址:0x20H 默认值:0000H | | |
| W/R | Bit15 | 14……1 | Bit0 |

| | | | |
|-----------------|---------------------------|-------|------|
| PFCnt_PB | 地址:0x21H 默认值:0000H | | |
| W/R | Bit15 | 14……1 | Bit0 |

PFCnt_PB 通道 B 快速有功脉冲计数寄存器；PFCnt_PA 通道 A 快速有功脉冲计数寄存器；

为了防止上下电时丢失电能，掉电时 MCU 将寄存器 PFCnt_PA、PFCnt_PB 值读回并进行保存，然后在下次上电时 MCU 将这些值重新写入到 PFCnt_PA、PFCnt_PB 中去。

在 Prun=0 时，PFCnt_PA、PFCnt_PB 停止更新保持不变；

在 Prun=1 时，当 PFCnt_PB 等于 HFConst 的值，PFB 会有脉冲输出，有功能量寄存器 E_PB 就会加 1。

当 PFCnt_PA 等于 HFConst 的值，PFA 会有脉冲输出，有功能量寄存器 E_PA 就会加 1。

3.2.2相角寄存器

| Angle | 地址:0x22H 默认值:0000H | | |
|-------|--------------------|-------|------|
| R | Bit15 | 14……1 | Bit0 |

Angle 代表电压通道与电流通道 A 或电压通道与电流通道 B 之间的夹角，当线频率为 50Hz 时分辨率为 0.0805°；当线频率为 60Hz 时分辨率为 0.0965°。

3.2.3电压频率寄存器

| Ufreq | 地址:0x23H 默认值:0000H | | |
|-------|--------------------|-------|------|
| R | Bit15 | 14……1 | Bit0 |

主要测量基波频率 Ufreq，测量带宽 250Hz 左右。频率值是一个 16 位的无符号数，参数格式化公式为： $f = CLKI/8/Ufreq$ 。

例如，如果系统时钟为 $CLKI=3.579545MHz$ ， $Ufreq=8948$ ，那么测量到的实际频率为： $f=3579545/8/8948=49.9908Hz$ 。

电压频率测量值更新的周期为 0.64s。

3.2.4电流电压有效值寄存器

| RmsIA | 地址:0x24H 默认值:000000H | | |
|-------|----------------------|-------|------|
| R | Bit23 | 22……1 | Bit0 |

| RmsIB | 地址:0x25H 默认值:000000H | | |
|-------|----------------------|-------|------|
| R | Bit23 | 22……1 | Bit0 |

| RmsU | 地址:0x26H 默认值:000000H | | |
|------|----------------------|-------|------|
| R | Bit23 | 22……1 | Bit0 |

电流电压有效值 Rms 是 24 位有符号数，最高位为 0 表示有效数据，最高位为 1 时读数做零处理；参数更新的频率可选：3.4Hz、6.8Hz、13.6Hz、27.2Hz。

3.2.5功率因数寄存器

| PF | 地址:0x27H 默认值:000000H | | |
|----|----------------------|-------------|------|
| R | Bit23 | Bit22……Bit1 | Bit0 |

PF 是 24 位有符号小数，最高位为符号位，由有功功率除以视在功率得到。功率因数=符号位 * $[(PF_{22} * 2^{-1}) + (PF_{21} * 2^{-2}) + \dots]$ ；当 $PF=24'h7FFFFFF$ 时，表示功率因数为 1.0；当 $PF=24'h800000$ 时，表示功率因数为 -1.0；当 $PF=24'h400000$ 时，表示功率因数为 0.5。参数更新的频率为 3.4Hz。潜动状态

下为 24'h7FFFFFF;

3.2.6 有功电能寄存器

| E_PA | 地址:0x28H 默认值:000000H | | |
|-------------|-----------------------------|-------|------|
| R | Bit23 | 22……1 | Bit0 |

| E_PB | 地址:0x29H 默认值:000000H | | |
|-------------|-----------------------------|-------------|------|
| R | Bit23 | Bit22……Bit1 | Bit0 |

E_PA 和 E_PB 是功率能量寄存器，E_PA 是通道 A 能量寄存器，E_PB 是通道 B 能量寄存器，在 0xFFFFFFFF 溢出到 0x000000 时，会产生溢出标志 PEA0IF 和 PEBOIF (参见 IF 0x41H)。

电能参数是无符号数，E_PA 的寄存器值代表 PFA 脉冲的累加个数，E_PB 的寄存器值代表 PFB 脉冲的累加个数。寄存器最小单位代表的能量为 1/EckWh。其中 EC 为脉冲常数。

当 EPA_CB=0 时 E_PA 寄存器是读后清零型有功能量寄存器；当 EPA_CB=1 时 E_PA 寄存器是读后不清零型有功能量寄存器；

当 EPB_CB=0 时 E_PB 寄存器是读后清零型有功能量寄存器；当 EPB_CB=1 时 E_PB 寄存器是读后不清零型有功能量寄存器；

3.2.7 平均功率寄存器

| PowerA | 地址:0x2CH 默认值:00000000H | | |
|---------------|-------------------------------|-------|------|
| R | Bit31 | 30……1 | Bit0 |

| PowerB | 地址:0x2DH 默认值:00000000H | | |
|---------------|-------------------------------|-------|------|
| R | Bit31 | 30……1 | Bit0 |

| PowerS | 地址:0x2EH 默认值:00000000H | | |
|---------------|-------------------------------|-------|------|
| R | Bit31 | 30……1 | Bit0 |

有功功率参数 PowerA/B 和视在功率参数 PowerS 都是二进制补码格式，32 位数据，其中最高位是符号位。功率参数更新的频率为 3.4Hz。

PowerA 是 U 通道和 IA 通道的平均有功功率寄存器；PowerB 是 U 通道和 IB 通道的平均有功功率寄存器；PowerS 是电压通道 U 和电流通道 A 的平均有功功率或电压通道 U 和电流通道 B 的平均有功功率，有 channel_sel 决定；

3.2.8 计量状态寄存器

| EMU STATUS Register(EMUStatus) Addr:0x2FH 默认值: 00EF3BH | | |
|--|-------------|--|
| 位 | 名称 | 功能描述 |
| 23-22 | NC | NC |
| 21 | Channel_sel | 电流通道选择状态标识位。默认为 0。 =1 表示当前用于计算相角、视在功率、功率因数、瞬时有功功率、瞬时视在功率的电流通道为电流通道 B； =0 表示当前用于计算相角、视在功率、功率因数、瞬时有功功率、瞬时视在功率的电流通道为电流通道 A； ADC2ON=1 时，该 bit 位一直为 0。 |
| 20 | NopldB | 通道 B 有功功率小于起动功率(0060H)时 NopldB 被置为 1；否则为 0 |
| 19 | NopldA | 通道 A 有功功率小于起动功率时，NopldA 被置为 1；否则为 0 |
| 18 | REVPB | 通道 B 反向有功功率指示标识信号。当检测到负有功功率时，该信号为 1。当再次检测到正有功功率时，该信号为 0。在 PFB 发生脉冲时更新该值。 |
| 17 | REVPA | 通道 A 反向有功功率指示标识信号。当检测到负有功功率时，该信号为 1。当再次检测到正有功功率时，该信号为 0。在 PFA 发生脉冲时更新该值。 |
| 16 | ChksumBusy | 校表数据校验计算状态寄存器。 =0，表示校表数据校验和计算已经完成，校验值可用。 =1，表示校表数据校验和计算未完成，校验值不可用。 |
| 15—0 | Chksum | 校验和输出 |

EMUStatus [15:0]是 CSE7761 专门提供的一个寄存器，用来存放校表参数配置寄存器的 16 位校验和。外部 MCU 可以检测这个寄存器来监控校表数据是否错乱。

校验和的算法为双字节累加后取反。对于单字节寄存器将其扩展为双字节后累加，扩展的字节为 00H。

CSE7761 参与校验和计算的寄存器地址是 00H-1FH，根据 CSE7761 默认值计算得到的校验和为 B32Eh。

以下三种情况下，重新开始一次校验和计算：系统复位、00H-10H 某个寄存器发生写操作、00H-1FH 某个寄存器发生写操作、EMUStatus 寄存器发生读操作。一次校验和计算需要 2 个系统时钟周期。

3.2.9 峰值寄存器

| PeakIA | 地址:0x30H 默认值:000000H | | |
|--------|----------------------|-------------|------|
| R | Bit23 | Bit22……Bit1 | Bit0 |

电流通道 A 的峰值寄存器，最高位为符号位，读后清零。

| PeakIB | 地址:0x31H 默认值:000000H | | |
|--------|----------------------|-------------|------|
| R | Bit23 | Bit22……Bit1 | Bit0 |

电流通道 B 的峰值寄存器，最高位为符号位，读后清零。

| PeakU | 地址:0x32H 默认值:000000H | | |
|-------|----------------------|-------------|------|
| R | Bit23 | Bit22……Bit1 | Bit0 |

电压通道的峰值寄存器，最高位为符号位，读后清零。

3.3 瞬时值与波形寄存器

3.3.1 瞬时值寄存器

| InstanIA | 地址:0x33H 默认值:000000H | | |
|----------|----------------------|-------------|------|
| R | Bit23 | Bit22……Bit1 | Bit0 |

电流通道 A 有效值瞬时值，最高位为符号位，更新频率是 6991Hz。

| InstanIB | 地址:0x34H 默认值:000000H | | |
|----------|----------------------|-------------|------|
| R | Bit23 | Bit22……Bit1 | Bit0 |

电流通道 B 有效值瞬时值，最高位为符号位，更新频率是 6991Hz。

| InstanU | 地址:0x35H 默认值:000000H | | |
|---------|----------------------|-------------|------|
| R | Bit23 | Bit22……Bit1 | Bit0 |

电压通道 U 有效值瞬时值，最高位为符号位，更新频率是 6991Hz。

| InstanP | 地址:0x3CH 默认值:000000H | | |
|---------|----------------------|-------------|------|
| R | Bit31 | Bit30……Bit1 | Bit0 |

有功功率瞬时值，最高位为符号位，更新频率是 6991Hz。

| InstanS | 地址:0x3DH 默认值:000000H | | |
|---------|----------------------|-------------|------|
| R | Bit31 | Bit30……Bit1 | Bit0 |

视在功率瞬时值，最高位为符号位，更新频率是 6991Hz

3.3.2 波形寄存器

| WaveIA | 地址:0x36H 默认值:000000H | | |
|--------|----------------------|--------------|------|
| R | Bit255 | Bit254……Bit1 | Bit0 |

电流通道 A 在经过 HPF 之后的波形数据，最高位为符号位，更新频率是 6991Hz。

| WaveIB | 地址:0x37H 默认值:000000H | | |
|--------|----------------------|--------------|------|
| R | Bit255 | Bit254……Bit1 | Bit0 |

电流通道 B 在经过 HPF 之后的波形数据，最高位为符号位，更新频率是 6991Hz。

| WaveU | 地址:0x38H 默认值:000000H | | |
|-------|----------------------|--------------|------|
| R | Bit255 | Bit254……Bit1 | Bit0 |

电压通道 U 在经过 HPF 之后的波形数据，最高位为符号位，更新频率是 6991Hz。

3.4 中断状态寄存器

3.4.1 中断配置和允许寄存器 IE

当中断允许位配置为 1 且中断产生时，IRQ_N 引脚输出低电平。写保护寄存器，配置该寄存器前需将写使能打开。

| Interrupt Enable Register(IE) Addr:0x40H 默认值: 0000H | | |
|---|----------|--------------------|
| 位 | 名称 | 功能描述 |
| 15 | CompIE | 比较器中断使能 |
| 14 | ZX_UIE | 电压过零中断使能 |
| 13 | ZX_IBIE | 电流 B 过零中断使能 |
| 12 | ZX_IAIE | 电流 A 过零中断使能 |
| 11 | SAGIE | 电压欠压中断使能 |
| 10 | OPIE | 功率过载的中断使能 |
| 9 | OVIE | 电压过压中断使能 |
| 8 | OIBIE | 电流 B 过流中断使能 |
| 7 | OIAIE | 电流 A 过流中断使能 |
| 6 | INSTANIE | 瞬时中断使能 |
| 5 | 保留 | |
| 4 | PEBOIE | 通道 B 有功电能寄存器溢出中断使能 |
| 3 | PEAOIE | 通道 A 有功电能寄存器溢出中断使能 |
| 2 | PFBIE | PFB 中断使能 |
| 1 | PFAIE | PFA 中断使能 |
| 0 | DUPDIE | 均值数据更新中断使能 |

3.4.2 中断状态寄存器 IF

| Interrupt Enable Register(IF) Addr:0x41H 默认值: 0000H | | |
|---|---------|-------------------------------------|
| 位 | 名称 | 功能描述 |
| 15 | CompIF | =0, 未发生比较器中断 =1, 发生比较器中断 |
| 14 | ZX_UIF | =0, 未发生电压过零中断 =1, 发生电压过零中断 |
| 13 | ZX_IBIF | =0, 未发生电流 B 过零中断 =1, 发生电流 B 过零中断 |
| 12 | ZX_IAIF | =0, 未发生电流 A 过零中断 =1, 发生电流 A 过零中断 |
| 11 | SAGIF | =0, 未发生电压欠压中断 =1, 发生电压欠压中断 |
| 10 | OPIF | =0, 未发生功率过载中断 =1, 发生功率过载中断 |

| | | |
|---|----------|---|
| 9 | OVIF | =0, 未发生电压过压中断 =1, 发生电压过压中断 |
| 8 | OIBIF | =0, 未发生电流 B 过流中断 =1, 发生电流 B 过流中断 |
| 7 | OIAIF | =0, 未发生电流 A 过流中断 =1, 发生电流 A 过流中断 |
| 6 | INSTANIF | INSTANIF=0, 未发生瞬时值更新事件; INSTANIF=1, 发生瞬时值更新事件; |
| 5 | NC | NC |
| 4 | PEBOIF | PEBOIF=0: 通道 B 未发生有功电能寄存器溢出事件; PEBOIF=1: 通道 B 发生有功电能寄存器溢出事件; |
| 3 | PEAOIF | PEAOIF=0: 通道 A 未发生有功电能寄存器溢出事件; PEAOIF=1: 通道 A 发生有功电能寄存器溢出事件; |
| 2 | PFBIF | PBFIF=0:未发生 PFB 脉冲输出事件; PBFIF=1:发生 PFB 脉冲输出事件; |
| 1 | PAFIF | PAFIF=0:未发生 PFA 脉冲输出事件; PAFIF=1:发生 PFA 脉冲输出事件; |
| 0 | DUPDIF | DUPDIF =0:未发生数据更新事件; DUPDIF =1:发生数据更新事件. |

IF 适用于 SPI 接口和 UART 接口。当某中断事件产生时，硬件会将相应的中断标志置 1。

IF 中断标志的产生受中断允许寄存器 IE 的控制，设置 IE 之后相应的中断状态寄存器标志位才会更新。

IF 为只读寄存器，读后清零。

3.4.3 复位中断状态寄存器 RIF

| Reset Interrupt Flag Register(RIF) Addr:0x42H 默认值: 0000H | | |
|--|----------|-------------------------------------|
| 位 | 名称 | 功能描述 |
| 15 | RCompIF | =0, 未发生比较器中断 =1, 发生比较器中断 |
| 14 | RZX_UIF | =0, 未发生电压过零中断 =1, 发生电压过零中断 |
| 13 | RZX_IBIF | =0, 未发生电流 B 过零中断 =1, 发生电流 B 过零中断 |
| 12 | RZX_IAIF | =0, 未发生电流 A 过零中断 =1, 发生电流 A 过零中断 |
| 11 | RSAGIF | =0, 未发生电压欠压中断 =1, 发生电压欠压中断 |
| 10 | ROPIF | =0, 未发生功率过载中断 =1, 发生功率过载中断 |
| 9 | ROVIF | =0, 未发生电压过压中断 =1, 发生电压过压中断 |
| 8 | ROIBIF | =0, 未发生电流 B 过流中断 =1, 发生电流 B 过流中断 |
| 7 | ROIAIF | =0, 未发生电流 A 过流中断 |

| | | |
|---|-----------|---|
| | | =1, 发生电流 A 过流中断 |
| 6 | RINSTANIF | =0, 未发生瞬时值更新事件; =1, 发生瞬时值更新事件; |
| 5 | 保留 | |
| 4 | RPEBOIF | =0:通道 B 未发生有功电能寄存器溢出事件; =1:通道 B 发生有功电能寄存器溢出事件; |
| 3 | RPEAOIF | =0:通道 A 未发生有功电能寄存器溢出事件; =1:通道 A 发生有功电能寄存器溢出事件; |
| 2 | RPFBIIF | =0:未发生 PFB 脉冲输出事件; =1:发生 PFB 脉冲输出事件; |
| 1 | RPFAIF | =0:未发生 PFA 脉冲输出事件; =1:发生 PFA 脉冲输出事件; |
| 0 | RDUPDIF | =0:未发生数据更新事件; =1:发生数据更新事件. |

对于 SPI 和 UART, RIF 的位定义和 IF 相同, 当某中断事件产生时, 相应的中断标志也置 1。读后清零, 读 RIF 可以同时清 IF 和 RIF 寄存器。RIF 为在 SPI/UART 读中断标志寄存器过程中仍然能接收新的中断而设计。

3.5 系统状态寄存器

3.5.1 系统状态寄存器 SysStatus

| System Status Register (SysStatus), Address: 0x43H, 只读R | | |
|---|---------|--|
| 位 | 名称 | 功能描述 |
| 7 | 保留 | 读数为0。 |
| 6 | clkssel | 芯片系统时钟来源指示信号 =1, 芯片正在使用内部晶振; =0, 芯片正在使用外部晶振; |
| 5 | 保留 | 读数为0。 |
| 4 | WREN | 写使能标志: =1 允许写入带写保护的寄存器; =0 不允许写入带写保护的寄存器 |
| 3 | 保留 | 读数为0。 |
| 2 | 保留 | 读数为0。 |
| 1 | 保留 | 读数为0。 |
| 0 | RST | 复位标志。当上电复位结束时和软件全局复位之后, 该位置1,读后清零。 |

3.5.2 SPI 读校验寄存器 RDATA

| RDATA | 地址:0x44H 默认值:00000000H | | |
|-------|------------------------|-------------|------|
| R | Bit31 | Bit30……Bit1 | Bit0 |

Rdata 寄存器保存前次读出的 4 字节数据, 可用于读出数据时的校验。

3.5.3 SPI 写校验寄存器 WDATA

| WDATA | 地址:0x45H 默认值:0000H | | |
|-------|--------------------|-------------|------|
| R | Bit15 | Bit 4……Bit1 | Bit0 |

Wdata 寄存器保存前次写入的 2 字节数据，可用于写入数据时的校验。

3.5.4 系数寄存器

| | | | |
|--------------|----------|-------------|------|
| Coeff_chksum | 地址:0x6FH | | |
| RmsIAC | 地址:0x70H | | |
| RmsIBC | 地址:0x71H | | |
| RmsUC | 地址:0x72H | | |
| PowerPAC | 地址:0x73H | | |
| PowerPBC | 地址:0x74H | | |
| PowerSC | 地址:0x75H | | |
| EnergyAC | 地址:0x76H | | |
| EnergyBC | 地址:0x77H | | |
| W/R | Bit15 | Bit14……Bit1 | Bit0 |

系数寄存器都是 16 位无符号数。

Coeff_chksum= ~(FFFFH+RmsIAC+……+EnergyBC)的低 16 位。

系数的校准条件:

| 芯片工作电压 | 5V | |
|--------|-----------------|--------------|
| 电流通道A | 输入信号5mV、PGA=16 | 对应的电流有效值5A |
| 电流通道B | 输入信号5mV、PGA=16 | 对应的电流有效值5A |
| 电压通道 | 输入信号200mV、PGA=1 | 对应的电压有效值200V |
| 有功功率 | | 对应的有功功率1000W |
| 视在功率 | | 对应的视在功率1000W |

注：芯片的系数计算是通过外部直接施加交流电压信号实现，没有考虑采用电阻(电流通道锰铜电阻、电压通道分压电阻)和其他外围的误差影响，系数的计算误差在±1%以内。

当电流通道采样电阻为 $K1 \cdot 1m\Omega$ ($K1$ 为放大/缩小倍数，例如锰铜实际为 $2m\Omega$ ， $K1=2$ ；锰铜实际为 $0.5m\Omega$ ， $K1=0.5$ ；)、电压分压电阻比例为 $K2 \cdot 1K\Omega / 1M\Omega$ ($K2$ 为放大/缩小倍数，例如电压分压电阻比例实际为 $2K\Omega / 1M\Omega$ ， $K2=2$ ；电压分压电阻比例实际为 $0.82K\Omega / 1M\Omega$ ， $K2=0.82$ ；)时，可以基于下述公式计算：

有效值计算方式：

$$\text{电流有效值} = \frac{\text{RmsXX} * \text{RmsXXC}}{\text{K1} * 2^{23}}$$

$$\text{电压有效值} = \frac{\text{RmsU} * \text{RmsUC}}{\text{K2} * 2^{22}}$$

RmsXX 为电流/电压有效值寄存器值； RmsXXC 为电流/电压有效值系数寄存器值；

电流有效值计算出的单位为 mA（如计算出的是 5000.1，代表 5.0001A）；电压有效值计算出的单位为 10mV(如计算出的是 22008.1，代表 220.081V)；

有功功率/视在功率计算方式：

$$\text{有功功率 / 视在功率} = \frac{\text{PowerXX} * \text{PowerXXC}}{\text{K1} * \text{K2} * 2^{31}}$$

PowerXX 为有功功率/视在功率寄存器值； RmsXXC 为电流/电压有效值系数寄存器值；

有功功率/视在功率计算出的单位为 W（如计算出的是 1100.1，代表 1100.1W）；

有功能量计算方式：

$$\text{电能} = \frac{\text{EnergyXX} * \text{EnergyXC} * \text{HFConst}}{\text{K1} * \text{K2} * 2^{29} * 4096} * 1000$$

EnergyXX 为能量脉冲寄存器值； EnergyXC 为能量脉冲校准系数寄存器值；

电能计算出的单位为 KW*h(度)（如计算出的是 2.101，代表 2.101 度电）；

3.5.5 DeviceID 寄存器

| DeviceID | 地址:0x7FH 默认值:776110H | | |
|----------|----------------------|-------------|------|
| R | Bit23 | Bit22……Bit1 | Bit0 |

该寄存器为固定值 776110H。

4 校表方法

4.1 概述

CSE7761 可以实现软件校表，经过校准的仪表有功精度可达 0.5s 级，CSE7761 的校准手段包括：

- 电表常数(HFConst)可调
- 提供 A/B 通道的相位校准
- 提供 B 通道的电流增益校准
- 提供 A/B 通道的有功增益校准
- 提供 A/B 通道的有功 Offset 校准
- 提供 A/B 通道的有效值 Offset 校准
- 提供视在功率的增益校准和 Offset 校准
- 提供校表数据自动校验功能

4.2 校表流程和参数计算

在对 CSE7761 设计的单相液晶表进行校准时，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 PFA/PFB 可以通过光耦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 CSE7761 进行校准。

4.2.1 校表流程

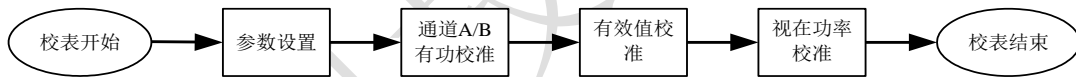


图 4-1 校准流程

4.2.2 参数设置

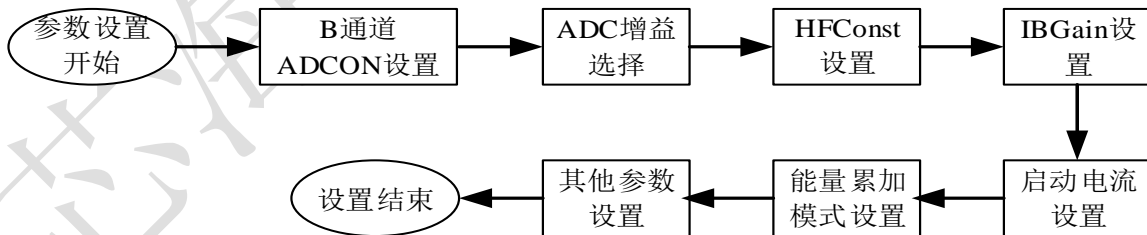


图 4-2 参数设置流程

HFConst 参数计算：

HFConst 的计算公式(以 A 通道的电流大小进行计算)：

$$HFConst = 23.2 * 10^{11} * \frac{Vu * Vi}{EC * Un * Ib}$$

Vu: 额定电压输入时，电压通道的电压(引脚上电压×放大倍数:1、2、4、8、16)；

Vi: 额定电流输入时，电流通道的电压(引脚上电压×放大倍数:1、2、4、8、16);

Un: 额定输入的电压;

Ib: 额定输入的电流;

EC: 脉冲常数。

IBGain 的计算:

$$\eta_{IBGain} = (IA - IB) / IB。$$

如果 $\eta_{IBGain} \geq 0$, 则 $IBGain = INT[\eta_{IBGain} \times 2^{15}]$;

否则 $\eta_{IBGain} < 0$, 则 $IBGain = INT[2^{16} + \eta_{IBGain} \times 2^{15}]$;

IA: 电流通道 A 的电流有效值(RmsIA 寄存器值);

IB: 电流通道 B 的电流有效值(RmsIB 寄存器值)。

4.2.3有功校准

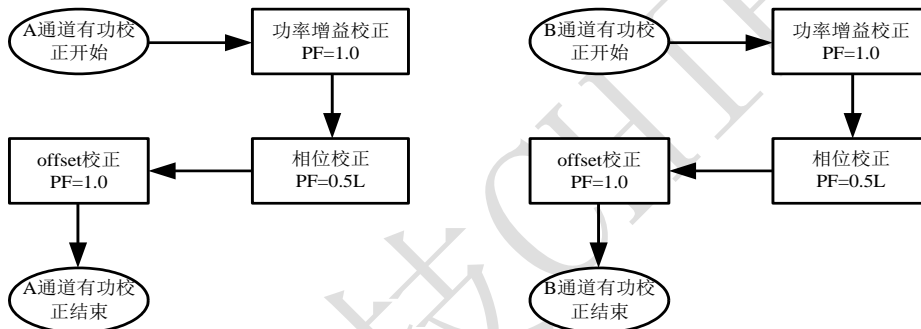


图 4-3 有功校准流程

1. A 通道功率增益校准可通过配置 PAGain 寄存器实现，PAGain 的计算方法如下:

若标准表在 A 通道 100%Ib、PF=1 上读出误差为 err:

$$\eta_{PAGain} = -err / (1 + err)。$$

如果 $\eta_{PAGain} \geq 0$, 则 $PAGain = INT[\eta_{PAGain} \times 2^{15}]$;

否则 $\eta_{PAGain} < 0$, 则 $PAGain = INT[2^{16} + \eta_{PAGain} \times 2^{15}]$;

B 通道功率增益校准可通过配置 PBGain 寄存器实现，方法同 PAGain。

2. A/B 通道相位校准寄存器的计算方法:

若标准表在 A/B 通道，100%Ib，PF=0.5L 上读出误差为 err，则相位补偿公式:

$$\theta = \arcsin(-err / \sqrt{3}) * 180 / 3.14159。$$

$$\text{或 } \theta = \arccos((err + 1) / 2) * 180 / 3.14159 - 60 \text{ 度}$$

对 50Hz，PhaseA/B 有 0.02 度/LSB 的关系，则有

$$\text{如果 } \theta \geq 0, \text{ PhaseA/B} = INT[\theta / 0.02]。$$

$$\text{如果 } \theta < 0, \text{ PhaseA/B} = INT[2^8 + \theta / 0.02]。$$

3. 有功 Offset 校准是在外部噪声(PCB 噪声,变压器噪声等等)较大,积分所得能量影响到小信号精度的情况下,提高小信号有功精度的一种有效手段。若外部噪声对小信号有功精度影响较小,该步骤可忽略。

若标准表给电能表施加 U_n 、A 通道 $5\%I_b$ 、 $PF=1$ 情况下读出误差为 err ，PowerA 寄存器的值为 PA(连续读取 16 次的平均值，PowerA 刷新频率 3.4Hz 左右),那么 PAOS 寄存器的值计算过程如下：

$$PAOS = INT[-(PA \times err)];$$

PBOS 寄存器计算过程与此相同。

4.2.4有效值校准

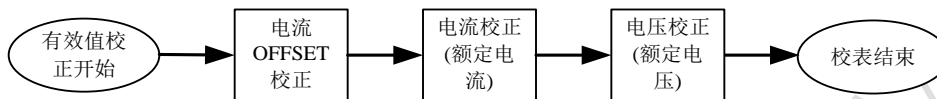


图 4-4 有效值校准流程

1. 电流 Offset 校准可提高小信号电流有效值精度

RmsIAOS 寄存器计算过程：

- 1) 配置标准表台，使 $U=U_n$ 、电流通道输入 $V_i=0$ ；
- 2) 等待 DUPDIF 标识位更新(每秒 3.4Hz 左右刷新)；
- 3) MCU 取 RmsIA 寄存器值，暂存；
- 4) 步骤 2 和 3 重复 11 次，第 1 个数据不要，取后 10 个数据求平均得 $I_{ave}[23:0]$ ；
- 5) 对 I_{ave} 按位取反(包括符号位)再加 1，取符号位填入 RmsIAOS 寄存器的 Bit15，取 Bit14~Bit0 填入 RmsIAOS Bit14~Bit0 得 RmsIAOS；
- 6) 有效值 Offset 校准结束。

RmsIBOS 校准公式和 RmsIAOS 寄存器计算过程与此相同。

2. 校好电流 Offset 后，再进行 A/B 通道电流转换系数 K_{iA}/K_{iB} 以及电压转换系数 K_u 的校准，该步由 MCU 完成，计算过程如下：

若额定电流 I_b 下 RmsIA 寄存器读数为 $RmsIA_{reg}$ ，则 $K_{iA} = I_b / RmsIA_{reg}$ 。

其中 K_{iA} 为额定输入时额定值与相应寄存器的比值。

B 通道转换系数 K_{iB} 和电压转换系数 K_u 的计算过程相同。

4.2.5视在功率校准

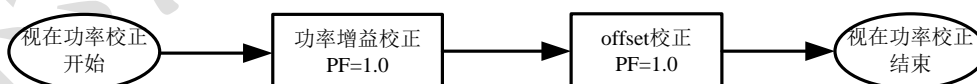


图 4-5 视在功率校准流程

1. 视在功率增益校准可通过配置 PSGain 寄存器实现，PSGain 的计算方法如下：

若计量能量的通道为 A 通道，在标准表给电能表施加 U_n 、A 通道 $100\%I_b$ 、 $PF=1$ 情况下读出 A 通道的平均有功功率寄存器值为 PowerPA,平均视在功率寄存器值为 PowerS:

$$\eta \text{ PSGain} = (\text{PowerPA} - \text{PowerS}) / \text{PowerS}.$$

如果 $\eta \text{ PSGain} \geq 0$ ，则 $\text{PSGain} = INT[\eta \text{ PSGain} \times 215]$ ；

否则 $\eta \text{ PSGain} < 0$ ，则 $\text{PSGain} = \text{INT}[2^{16} + \eta \text{ PSGain} \times 215]$;

2. 视在 Offset 校准有助于提高小信号时功率因数的精确度。

若计量能量的通道为 A 通道，在标准表给电能表施加 U_n 、A 通道 $5\%I_b$ 、 $\text{PF}=1$ 情况下读出 A 通道的平均有功功率寄存器值为 PowerPA ，平均视在功率寄存器值为 PowerS ，那么 PSOS 寄存器的值计算过程如下：

$$\text{PSOS} = \text{INT}[\text{PowerPA} - \text{PowerS}];$$

4.2.6 举例

假设计一块 $220\text{V}(U_n)$ 、 $10\text{A}(I_b)$ 额定输入，脉冲常数为 $1200\text{imp/kWh}(\text{EC})$ 的样表，A 通道电流使用 $250\mu\Omega$ 的锰铜，通道 A 模拟通道增益为 16 倍，B 通道电流采样使用电流互感器，选择 B 通道增益为 1 倍，电压采样使用电阻分压输入，模拟通道增益为 1 倍，芯片引脚值为 0.16V 。

1: 计算 HFConst

$V_u=0.16\text{V}$, $V_i=10 \times 0.00025 \times 16=0.040\text{V}$, $\text{EC}=1200\text{imp/kWh}$, $U_n=220\text{V}$, $I_b=10\text{A}$ 。

$\text{HFConst} = \text{INT}[23.196 \times V_u \times V_i \times 1011 / (\text{EC} \times U_n \times I_b)] = 5623 = 15\text{F7H}$ ，取整后 HFConst 为 15F7H ，将该值写入 HFConst 寄存器，完成 HFConst 校准。

2: A 通道有功校准

2.1 A 通道功率增益校准

功率源上输出 220V 10A 功率因数为 1.0 ，标准表上显示误差为 1.2% ，则：

$\eta \text{ PAGain} = -0.012 / (1 + 0.012) = -0.01186$, $\eta \text{ PAGain} < 0$, $\text{PAGain} = \text{INT}[216 + \eta \text{ PAGain} \times 215] = -0.01186 \times 215 + 216 = 0\text{xFE7BH}$ ，将 FE7BH 写入 PAGain 寄存器，完成 A 通道增益校准。

2.2 A 通道相位校准

校准阻性增益后，把功率因数改为 0.5L ，标准表显示的误差为 -0.4% ，则 $\theta > 0$, $\text{PhaseA} = \text{INT}[\theta / 0.02] = (\arcsin(-(-0.004) / \sqrt{3})) / 0.02 = 7$ ，输入 07H 到 PhaseA 寄存器，完成 A 通道相位校准；如果标准表显示的误差为 -0.4% ，则 $\theta < 0$, $\text{PhaseA} = \text{INT}[\theta / 0.02] = (\arcsin(-(-0.004) / \sqrt{3})) / 0.02 = -7$ ，在相位选择位 $\text{Phase_sel}=0$ 时输入 $(2^8 - 7 - 96) = 99\text{H}$ 到 PhaseA 寄存器；在 $\text{Phase_sel}=1$ 时输入 $(2^8 - 7) = \text{F9H}$ 到 PhaseA 寄存器；

2.3 A 通道 Offset 校准

若标准表给电能表施加 U_n 、A 通道 $5\%I_b$ 、 $\text{PF}=1$ 情况下读出误差为 $\text{err}=0.3\%$ ， PowerA 寄存器的值为 $\text{PA}=\text{000F5AB7H}$ (连续读取 16 次的平均值， PowerA 刷新频率 3.4Hz 左右)，那么 PAOS 寄存器的值为 $\text{PAOS} = \text{INT}[-(\text{000F5AB7H} \times 0.3\%)] = \text{F436H}$;

B 通道有功校准和 A 通道类似。

3: 有效值校准

芯片提供了电流有效值偏置校准寄存器，在电流输入为 0 的条件下，读取电流有效值寄存器值为 268H(可以读若干次取平均值)，取反加 1 为 FFFD98，取符号位填入 RmsIAOS 寄存器的 Bit15，取 Bit14~Bit0 填入 PAOS Bit14~Bit0 得 FD98H,写入 RmsIAOS 寄存器，完成 A 通道有效值校准。

B 通道有效值校准和 A 通道类似。

4: 视在功率校准

4.1 视在功率增益校准

假设计量能量的通道为 A 通道，在标准表给电能表施加 U_n 、A 通道 100% I_b 、PF=1 情况下读出 A 通道的平均有功功率寄存器值为 PowerPA =00AF389AH,平均视在功率寄存器值为 PowerS =00AE04D4H,那么 PSGAIN 寄存器的值计算过程如下：

$$\eta \text{ PSGain} = (\text{PowerPA} - \text{PowerS}) / \text{PowerS} = 0.691\% ;$$

$$\text{PSGain} = \text{INT}[\eta \text{ PSGain} \times 215] = 226 = 00E2\text{H};$$

4.2 视在功率 Offset 校准

假设计量能量的通道为 A 通道，在标准表给电能表施加 U_n 、A 通道 5% I_b 、PF=1 情况下读出 A 通道的平均有功功率寄存器值为 PowerPA =0008C2D4H,平均视在功率寄存器值为 PowerS =0008C1D7H,那么 PSOS 寄存器的值计算过程如下：

$$\text{PSOS} = \text{INT}[\text{PowerPA} - \text{PowerS}] = 253 = 00FD\text{H};$$

5 通信接口

5.1 SPI 接口

5.1.1 CSE7761 SPI 命令格式

当 CSE7761 芯片的 SPIEN 引脚接高电平时，CSE7761 通讯模式为 SPI。

5.1.2 SPI 命令格式

SPI 是四线制：SCSN、SDI、SDO 和 SCLK，包括一个读寄存器 RDATA 和一个写寄存器 WDATA。所用数据传输错作均与 SCLK 同步，CSE7761 在上升沿将数据从 SDO 引脚输出，在下降沿从 SDI 引脚读取数据。在 SCSN 为低期间，能够对寄存器进行连续读写操作。在 SPI 操作期间如果当两个 SCLK 上升沿超过 9.15ms(系统时钟的 2^{15})时复位 SPI 模块(即 SPI 最低速率为 109.25Hz)。

SPI 的命令寄存器是一个 8bit 宽的寄存器。对于读写操作，命令寄存器的 bit7 用来确定本次数据传输操作的类型是读操作还是写操作，命令寄存器的 bit6-0 是读写的寄存器的地址。对于特殊命令操作，命令寄存器的 bit7-0 固定为 0xEA。

表 5-1 CSE7761 SPI 命令列表

| 命令名称 | 命令寄存器 | 数据 | 描述 |
|-----------|------------------|-------|---|
| 读命令 | {0,REG_ADR[6:0]} | RDATA | 从地址为 REG_ADR[6:0]的寄存器中读数据。 注：读无效地址，返回值为 00h |
| 写命令 | {1,REG_ADR[6:0]} | WDATA | 向地址为 REG_ADR[6:0]的寄存器中写数据 |
| 写使能命令 | 0xEA | 0xE5 | 使能写操作 |
| 写保护命令 | 0xEA | 0xDC | 关闭写操作 |
| 电流通道 A 选择 | 0xEA | 0x5A | 电流通道 A 设置命令，指定当前用于计算视在功率、功率因数、相角、瞬时有功功率、瞬时视在功率和有功功率过载的信号指示 的通道为通道 A |
| 电流通道 B 选择 | 0xEA | 0xA5 | 电流通道 B 设置命令，指定当前用于计算视在功率、功率因数、相角、瞬时有功功率、瞬时视在功率和有功功率过载的信号指示 的通道为通道 B |
| 复位指令 | 0xEA | 0x96 | 复位指令，接收到指令之后，芯片复位。 |

5.1.3 SPI 写操作时序

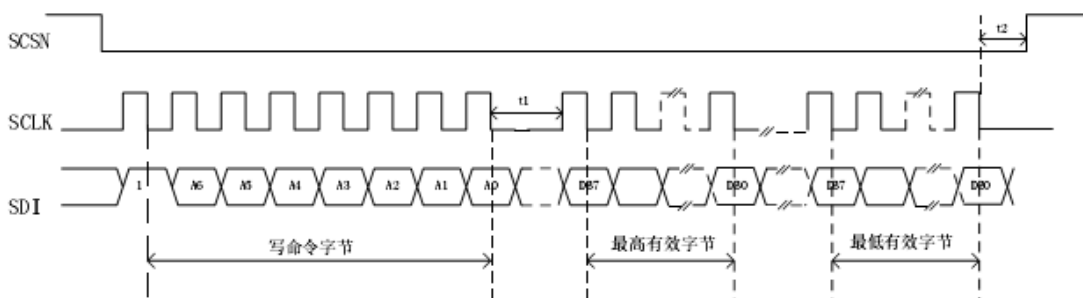


图 5-1 SPI 写操作时序

工作过程：

1. 主机在 SCSN 有效后，先通过 SPI 写入命令字节，再写入数据字节。注意：
2. 以字节为单位传输，高比特在前，低比特在后；
3. 多字节寄存器，先传输高字节内容，再传输低字节内容；
4. 主机在 SCLK 上升沿写数据，从机在 SCLK 下降沿读取数据；
5. 数据字节之间的时间 t_1 要大于等于半个 SCLK 周期；
6. 最后一个字节的 LSB 传送完毕，SCSN 由低变高结束数据传输。SCLK 下降沿和 SCSN 上升沿之间的时间 t_2 要大于等于半个 SCLK 周期。

注意：有写保护功能的寄存器在写操作之间要先写入写使能命令。

5.1.4 SPI 读操作时序

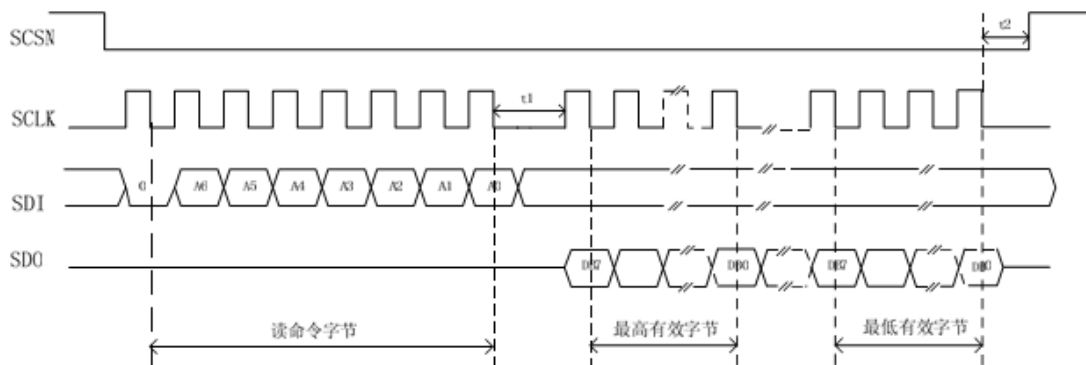


图 5-2 SPI 读操作时序

工作过程：

总机在 SCSN 有效后，先通过 SPI 写入命令字节，从机收到读命令后，在 SCLK 的上升沿将数据按位从 SDO 引脚输出。注意：

1. 以字节为单位传输，高比特在前，低比特在后；
2. 多字节寄存器，先输出高字节内容，再传输低字节内容；
3. 主机在 SCLK 上升沿斜命令字节，从机在 SCLK 上升沿将数据从 SDO 输出；
4. 数据字节的时间 t_1 要大于等于半个 SCLK 时间；
5. 最后一个字节的 LSB 传送完毕，SCSN 由低变高结束数据传输。SCLK 下降沿和 SCSN 上升沿之间的时间 t_2 要大于等于半个 SCLK 周期。

5.2 CSE7761 UART 命令格式

5.2.1 UART 通讯格式

工作在从模式，半双工通讯，9 位 UART(含奇偶校验位)，符合标准 UART 协议

当 CSE7761 芯片的 SPIEN 引脚接低电平时，内部串行通讯口转入 UART 方式，此时 SDO/TX 转为发送输出 TX，SDI/RX 转为接收输入 RX，SCLK 和 SCSN 控制 UART 的波特率，如下表所示。

表 5-2 CSE7761 SPI 命令列表

| SPIEN | SCLK | SCSN | 描述 |
|-------|------|------|------------------|
| 1 | x | x | UART 处于复位状态 |
| 0 | 1 | 1 | UART 的波特率为 38400 |
| 0 | 0 | 1 | UART 的波特率为 19200 |
| 0 | 1 | 0 | UART 的波特率为 9600 |
| 0 | 0 | 0 | UART 的波特率为 4800 |

注：在 UART 出现异常，可通过把 SPIEN 拉高再拉低复位 UART，然后以 CSE7761 的帧格式发送两次 FF(以奇校验的方式发送)。

CSE7761 的 UART 通讯格式如下所示：



图 5-3 UART 通讯格式

UART 的命令寄存器与 SPI 相同，也是一个 8bit 宽的寄存器。对于读写操作，命令寄存器的 bit7 用来确定本次数据传输操作的类型是读操作还是写操作。对于特殊命令操作，命令寄存器的 bit7-0 固定为 0xEA。

CSE7761 的 UART 数据传送：读操作由从机端发送，写操作由主机端发送。若寄存器地址对应寄存器是多字节寄存器，先传最高有效字节。

CSE7761 的 UART 数据校验方式：读操作由从机端发送，写操作由主机端发送。校验数据计算方法如下：

校验数据 $Cdata[7:0] = \sim(0xA5 + CMD[7:0] + DATA_n[7:0] + \dots + DATA_1[7:0])$ ，即将 CMD 和数据相加，抛弃进位，最后的结果按位取反；

表 5-3 CSE7761 UART 命令列表

| 命令名称 | 命令寄存器 | 数据 | 描述 |
|-----------|------------------|--------|---|
| 读命令 | {0,REG_ADR[6:0]} | RDATA | 从地址为 REG_ADR[6:0]的寄存器中读数据。 注：读无效地址，返回值为 00h |
| 写命令 | {1,REG_ADR[6:0]} | WDAT A | 向地址为 REG_ADR[6:0]的寄存器中写数据 |
| 写使能命令 | 0xEA | 0xE5 | 使能写操作 |
| 写保护命令 | 0xEA | 0xDC | 关闭写操作 |
| 电流通道 A 选择 | 0xEA | 0x5A | 电流通道 A 设置命令，指定当前用于计算有功电能/无功电能/无功功率/视在功率的电流通道为通道 A |
| 电流通道 B 选择 | 0xEA | 0xA5 | 电流通道 B 设置命令，指定当前用于计算有功电能/无功电能/无功功率/视在功率的电流通道为通道 B |
| 复位指令 | 0xEA | 0x96 | 复位指令，接收到指令之后，芯片复位。 |

5.2.2 UART 帧格式时序

CSE7761 的 UART 通讯固定共 11 位方式传送数据：1 个起始位、8 个数据位（低位在先）、1 位偶校验位（第 9 数据位）、1 个停止位。

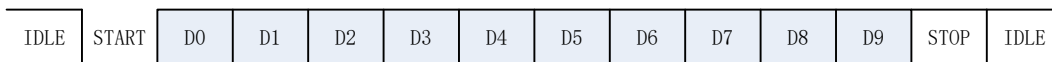


图 5-4 UART 接口帧格式

5.2.3 UART 写操作

写操作由主机端发起，主机端发送命令字节，如果是写命令，从机继续接收主机随后依次发送的数据字节和校验和字节。



图 5-5 UART 写操作时序

注意事项：

1. 字节发送端计算并发送校验位，字节接收端根据校验位判断字节传送是否有效；如果字节错误，随后的字节被认为是新的帧的开始；
2. 多字节寄存器，先传输高字节内容，再传输低字节内容；
3. 主机发送字节之间的时间，由主机端控制，没有限制；
4. 完整命令通讯之间的时间，由主机端控制，没有限制；
5. 有写保护功能的寄存器在写操作之前要先写入写使能命令；
6. 主机计算并发送校验和，从机根据校验和判断帧传送是否成功；

譬如对地址为 02H 的 HFConst 写入数据 1234H，UART 数据发送如下：（每帧按照标准格式帧发送）

1. 第一帧发送 8 位数据：0xA5；
2. 第二帧发送 8 位数据：0x82；
3. 第三帧发送 8 位数据：0x12；
4. 第四帧发送 8 位数据：0x34；
5. 第五帧发送 8 位数据：0x92； $0x92 = \sim[0xA5 + 0x82 + 0x12 + 0x34]$ ；

5.2.4 UART 读操作

读操作由主机端发起，主机端先发送读命令字节，CSE7761 随后由 TX 发送读数据字节、读校验和字节。如下图所示：



图 5-6 UART 读操作时序

注意事项：

1. 字节发送端计算并发送校验位，字节接收端根据校验位判断字节传送是否有效；如果字节校

验错误，字节接收端认为当前帧错误并结束；

2. 多字节寄存器，先传输高字节内容，再传输低字节内容；
3. 主机发送字节之间的时间，由主机端控制，没有限制；
4. 读命令与数据 Dataout 切换的时间，由 CSE7761 控制： $T/2$ （ T 是每比特的传送时间）；
5. CSE7761 发送数据字节之间的时间，由 CSE7761 控制： T （ T 是每比特的传送时间）；
6. 完整命令通讯之间的时间，由主机端控制，没有限制；
7. 主机计算并发送校验和，根据校验和判断 CSE7761 帧传送是否成功；

譬如读地址为 02H 的 HFConst 数据，发送如下：（每帧按照标准格式帧发送）

1. 第一帧发送 8 位数据：0xA5；
2. 第二帧发送 8 位数据：0x02；
3. 第三帧接收 8 位数据（HFCONST 的高 8 位）；判断接收到的校验位是否正确
4. 第四帧接收 8 位数据（HFCONST 的低 8 位）；判断接收到的校验位是否正确
5. 第五帧接收校验数据；判断接收到的校验数据是否正确。

6 芯片特性说明

6.1 推荐工作条件

表 6-1 推荐工作条件

| 参数 | 符号 | 最小值 | 典型值 | 最大值 | 单位 |
|------|------------------------|------|------|------|----|
| 电源 | VDD | 4.5 | 5.0 | 5.5 | V |
| | VDD | 3.0 | 3.3 | 3.6 | V |
| 参考电压 | VREF | 1.23 | 1.25 | 1.27 | V |
| 功耗 | B 通道不打开 (@VDD=3.3V) | - | 3.7 | - | mA |
| | B 通道不打开(@VDD=5V) | - | 4.3 | - | mA |
| | B 通道打开(@VDD=3.3V) | - | 4.7 | - | mA |
| | B 通道打开(@VDD=5V) | - | 5.5 | - | mA |
| 温度范围 | T _A | -40 | - | +85 | °C |

注：功耗@VDD=3.3V 为仿真值

6.2 模拟特性

VDD = 5V ±10% or 3.3V ±10% ; GND = 0 V; VREF=1.25 V; MCLK = 3.579545 MHz.

表 6-2 模拟特性

| 参数 | 符号 | 最小值 | 典型值 | 最大值 | 单位 |
|--------------------------------|--------------------|----------|------|----------|-------------------|
| 测量精度 | | | | | |
| 有功电能测量误差 常温下 5000:1 的动态范围内 | PEErr | -0.1 | 0 | 0.1 | % |
| 有效值测量误差 常温下 1000:1 的动态范围内 | RErr | -0.1 | 0 | 0.1 | % |
| 有功功率/视在功率 常温下 1000:1 的动态范围内 | PErr | -0.1 | 0 | 0.1 | % |
| 模拟输入 | | | | | |
| 差分输入范围 | IIN | -800/PGA | - | +800/PGA | mV _{P-P} |
| 等效输入阻抗 | EII | 70 | - | - | KΩ |
| 复位 | | | | | |
| 上电检测阈值 | PMLO | 2.8 | 2.9 | 2.95 | V |
| 掉电检测阈值 | PMHI | 2.5 | 2.7 | 2.9 | V |
| 温度传感器 | | | | | |
| 温度误差(标定之后) | | - | ±1 | - | °C |
| 基准电压 | | | | | |
| 输出电压 | VREF | 1.23 | 1.25 | 1.27 | V |
| 温漂(注释 1) | TC _{VREF} | - | 5 | 15 | ppm/°C |

注释 1：温度范围内 VREF 温漂计算公式如下：

$$TC_{VREF} = \left(\frac{VREF_{MAX} - VREF_{MIN}}{VREF_{AVG}} \right) \left(\frac{1}{T_{A_MAX} - T_{A_MIN}} \right) (1 \times 10^5)$$

6.3 数字特性

VDD = 5V ±10% or 3.3V ±10% ; GND = 0 V; MCLK = 3.579545 MHz.

表 6-3 数字特性

| 参数 | 符号 | 最小值 | 典型值 | 最大值 | 单位 |
|---|-----------------|---------|----------|---------|-------------------|
| 主时钟 | | | | | |
| 主时钟频率:内置时钟 (注释 2) | MCLK | 3.507 | 3.579 | 3.65 | MHz |
| 主时钟频率:外置时钟 | | - | 3.579545 | - | MHz |
| 滤波器 | | | | | |
| 相位补偿范围 (50Hz) | | -2.56 | - | +2.56 | ° |
| 输入采样速率 (DCLK=MCLK/K) | | - | MCLK/4 | - | Hz |
| 数字滤波器输出码率 | OWR | - | MCLK/512 | - | Hz |
| 高通滤波器转折 (-3dB) 频率 | | - | 0.543 | - | Hz |
| 输入输出 | | | | | |
| UART 接口速率 | | 4800 | - | 9600 | Hz |
| 高电平输入电压 (注释 4) | V _{IH} | 0.5VDD | - | - | V |
| 低电平输入电压 | V _{IL} | - | - | 0.8 | V |
| 高电平输出电压 IoH=4.2mA(VDD=5V) IoH=1.9mA(VDD=3.3V) | V _{OH} | 0.9*VDD | - | - | V |
| 低电平输出电压 IoL=-4.2mA(VDD=5V) IoL=-1.9mA(VDD=3.3V) | V _{OL} | - | - | 0.1*VDD | V |
| SPI 时钟频率 | SCLK | 0.11 | - | 890 | KHz |
| 数据字节的时间 | t ₁ | 0.5 | - | - | T _{SCLK} |
| SCLK 的下降沿与 SCSN 的上升沿之间的时间 | t ₂ | 0.5 | - | - | T _{SCLK} |

注释:

1. 在使用外部时钟时，无论是使用晶体还是采用外部时钟输入，OSCI 频率必须在 3MHz~5MHz。
2. 如果采用外部时钟输入，占空比需满足 45%~55%。
3. 当电源电压使用 5V，输入信号为 3.3V 时，每个 IO 会产生 250uA 的电流。

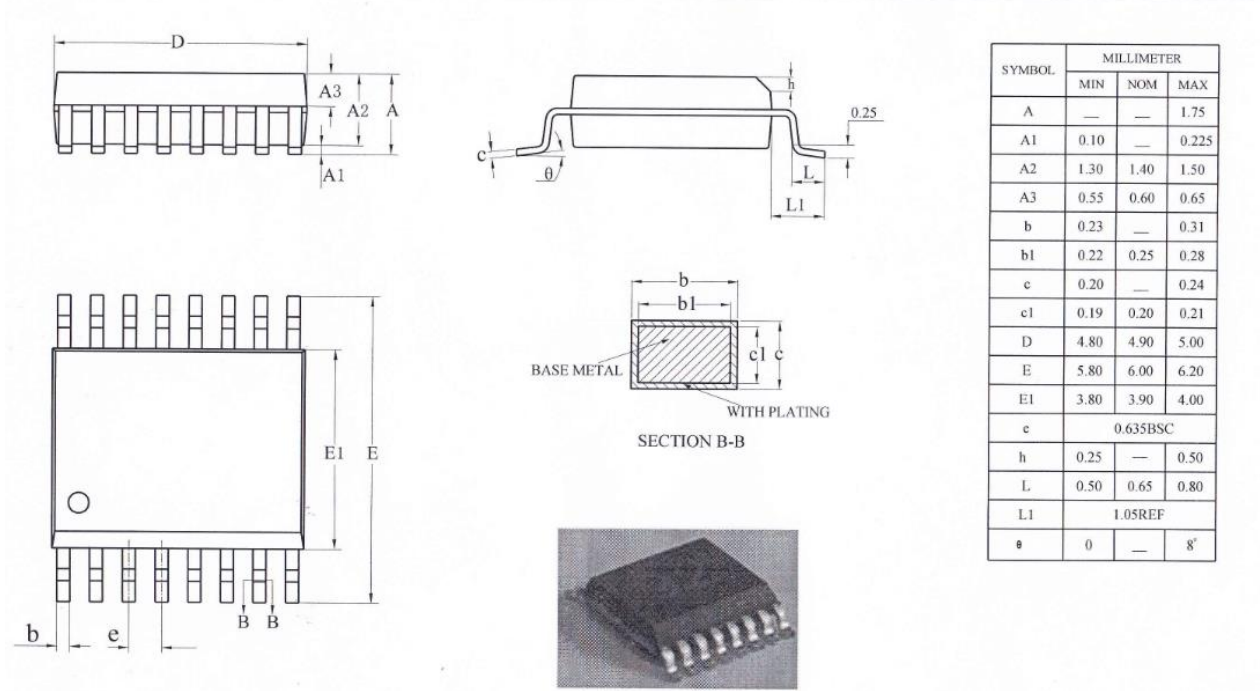
6.4 极限工作条件

表 6-4 极限工作条件

| 参数 | 符号 | 最小值 | 典型值 | 最大值 | 单位 |
|-------------------------|-------------------|------|-----|---------|----|
| 电源 | VDD | -0.3 | - | +6 | V |
| VDD to GND | | -0.3 | - | +6 | V |
| V1P, V1N, V2P, V2N, V3P | | -1 | - | +6 | V |
| 模拟输入电压 | V _{INA} | -0.3 | - | VDD+0.3 | V |
| 数字输入电压 | V _{IND} | -0.3 | - | VDD+0.3 | V |
| 数字输出电压 | V _{OUTD} | -0.3 | - | VDD+0.3 | V |
| 工作环境温度 | T _A | -40 | - | 85 | °C |
| 存储温度 | T _{stg} | -65 | - | 150 | °C |

7 芯片封装

CSE7761-SSOP16 封装尺寸图如下。



包装方式：

- 1) 芯片用料管装，芯片第一 PIN 脚朝料管的白塞；
- 2) 每二十管整齐层叠后，两端用橡皮筋捆扎，再将五捆一起捆扎；
- 3) 料管装入黑色防静电袋不封口，再放入内盒包装；
- 4) 每十盒装一整箱，尾数盒放在箱子最上层，装箱不足用空盒填充，且空盒放在最下层；
- 5) 里到外整数包装数量为 100EA/管、10000EA/盒、100000EA/箱。