



CSE7780 用户手册

Rev.1.1

通讯地址：深圳市南山区蛇口南海大海 1079 号花园城数码大厦 A 座 9 楼
邮政编码：518057
公司电话：+(86 755)86169257
传 真：+(86 755)86169057
公司网站：www.chipsea.com

历史修改记录

时间	记录	版本号
2011-9-30	初版发行	1.0
2011-11-29	修改有功功率 offset 校正方法; 修改电流通道 1、电流通道 2 和电压通道管脚功能描述。	1.1

目录

历史修改记录	2
目 录	3
1 芯片介绍.....	4
1.1 芯片特性.....	4
1.2 功能简介.....	4
1.3 功能框图.....	4
1.4 管脚定义.....	5
1.5 典型应用.....	7
2 系统功能.....	8
2.1 电源监测.....	8
2.2 系统复位.....	8
2.3 模数转换.....	8
2.4 有功功率.....	9
2.5 有效值.....	9
2.6 能量计算.....	10
2.7 通道切换.....	11
2.8 频率测量.....	11
2.9 过零检测.....	11
2.10 中断.....	11
2.10.1 SPI 读 RIF 寄存器过程.....	11
2.10.2 中断请求信号 IRQ_N.....	12
2.10.3 中断处理过程.....	12
2.11 寄存器.....	13
2.11.1 寄存器列表.....	13
2.11.2 校表参数寄存器.....	14
2.11.3 计量参数寄存器.....	18
2.11.4 中断状态寄存器.....	20
2.11.5 系统状态寄存器.....	22
3 校表方法.....	23
3.1 概述.....	23
3.2 校表流程和参数计算.....	23
3.2.1 校表流程.....	23
3.2.2 参数设置.....	24
3.2.3 有功校正.....	25
3.2.4 有效值校正.....	26
3.3 举例.....	27
4 通讯接口.....	29
4.1 SPI 接口信号说明.....	29
4.2 SPI 帧格式.....	29
4.3 SPI 写操作.....	29
4.4 SPI 读操作.....	31
5 电气特性.....	32
6 芯片封装.....	34

1 芯片介绍

1.1 芯片特性

- ✓ 计量
 - 提供 3 路 Σ - Δ ADC
 - 有功电能误差在 2000:1 的动态范围内 $<0.1\%$ ，支持 IEC62053-22:2003 标准
 - 提供一路电压、两路电流有效值测量，在 400:1 的动态范围内，有效值误差小于 $<0.5\%$
 - 潜动阈值可调
 - 提供反相功率指示
 - 提供电压通道频率测量
 - 提供电压通道过零检测

- ✓ 软件校表
 - 电表常数 (HFConst) 可调
 - 提供 A/B 通道的增益校正
 - 提供 A/B 通道的相位校正
 - 提供 A/B 通道的有功 offset 校正
 - 提供 A/B 通道有效值 offset 校正
 - 提供小信号加速校正功能
 - 提供校表数据自动校验功能

- ✓ 提供 SPI 接口
- ✓ 具有电源监测功能
- ✓ 单+5V 电源供电，功耗为 30mW
- ✓ 内置 $2.45V \pm 3\%$ 参考电压，温度系数典型值为 $25\text{ppm}/^\circ\text{C}$
- ✓ 采用 SSOP24 无铅封装

1.2 功能简介

CSE7780 能够测量有功功率、有功电能，并能同时提供两路独立的有功功率和电流有效值、电压有效值、线频率，过零中断等，可实现灵活的防窃电方案。

CSE7780 支持全数字的增益、相位和 offset 校正；有功电能脉冲从 PF 管脚输出。CSE7780 提供 SPI 串行接口，方便与外部 MCU 之间进行通讯。

CSE7780 内部的电源监控可以保证上电和断电时芯片可靠性工作。

1.3 功能框图

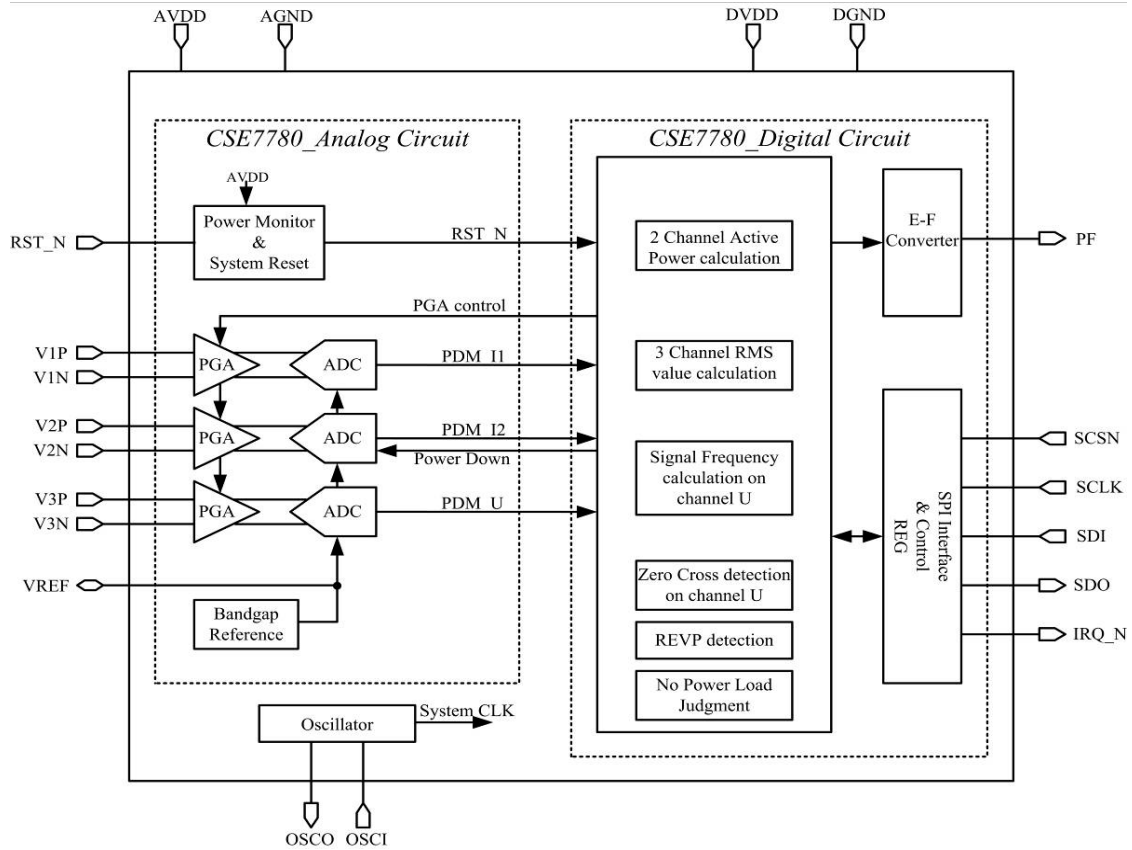


图 1 芯片原理框图

1.4 管脚定义

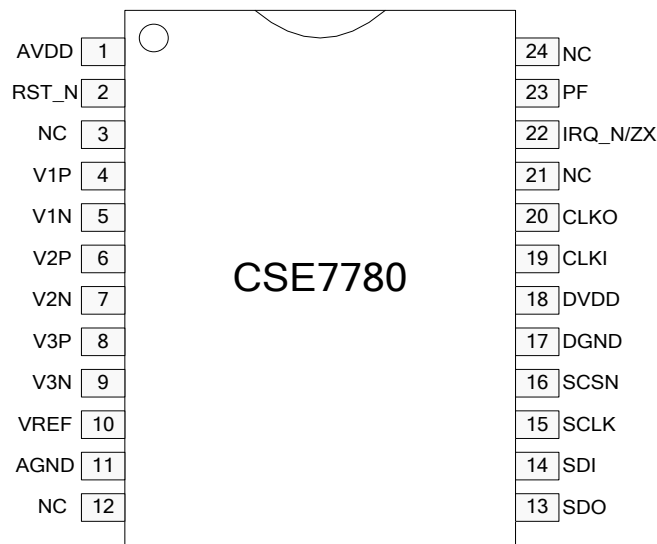


图 2 芯片管脚图

表 1 CSE7780 管脚功能说明

引脚	名称	特性	功能描述
1	AVDD	电源	模拟电源；需要外接 10 μ F 和 0.1 μ F 的电容进行去耦，正常应用电压范围 4.5V~5.5V。

2	RST_N	输入	复位引脚；低有效，复位内部所有寄存器。												
3	NC	—	不连接。												
4, 5	V1P, V1N	输入	电流通道 1 的模拟输入引脚；采用全差分输入方式。												
			<table border="1"> <thead> <tr> <th>PGA</th> <th>通道允许输入最大值(峰峰值)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>±700mV</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>±350mV</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>±175mV</td> </tr> <tr> <td>8</td> <td>±87.5mV</td> </tr> <tr> <td>16</td> <td>±43.75mV</td> </tr> </tbody> </table>	PGA	通道允许输入最大值(峰峰值)	1	±700mV	2	±350mV	4	±175mV	8	±87.5mV	16	±43.75mV
			PGA	通道允许输入最大值(峰峰值)											
			1	±700mV											
			2	±350mV											
			4	±175mV											
8	±87.5mV														
16	±43.75mV														
6, 7	V2P, V2N	输入	电流通道 2 的模拟输入引脚；采用全差分输入方式，正常应用时通道允许输入最大值（峰峰值）同电流通道 1 功能描述。												
8, 9	V3P, V3N	输入	电压通道的模拟输入引脚；采用全差分输入方式，正常应用时通道允许输入最大值（峰峰值）同电流通道 1 功能描述。												
10	VREF	输入/ 输出	2.45V 基准电压的输入/输出引脚；外部基准电压可通过此引脚接入芯片，无论使用内部还是外部基准电压都需要外接 0.1 μF 的电容器进行去耦。												
11	AGND	电源	模拟地。												
12	NC	—	不连接。												
13	SDO	输出	SPI 串行数据输出口 SDO；复位后输出高阻态。												
14	SDI	输入	该引脚为 SPI 串行数据输入。												
15	SCLK	输入	该引脚为 SPI 串行时钟输入。												
16	SCSN	输入	该引脚为 SPI 片选信号；低有效，内部悬空，由外部上拉。												
17	DGND	电源	数字地。												
18	DVDD	电源	数字电源；需要外接 10 μF 和 0.1 μF 的电容器进行去耦，正常应用电压范围 4.5V~5.5V。												
19	CLKI	输入	外部晶体的输入端；或者外部系统时钟的输入；晶体频率典型值为 3.579545MHz。												
20	CLKO	输出	外部晶体的输出端；当 OSC1 外接时钟时，OSCO 引脚能驱动一个 CMOS 负载。												
21	NC	—	不连接。												
22	IRQ_N/ZX	输出	中断/过零检测输出引脚；复位后为中断引脚； Zxcfg=0 (EMUCON-Bit7) 时，作为中断请求 IRQ_N； Zxcfg=1 (EMUCON-Bit7) 时，作为 ZX：电压信号的过零输出。												
23	PF	输出	有功电能校验脉冲输出；默认状态为低电平输出，其频率反映瞬时有功功率的大小，具有 5mA 的驱动能力。												
24	NC	—	不连接。												

1.5 典型应用

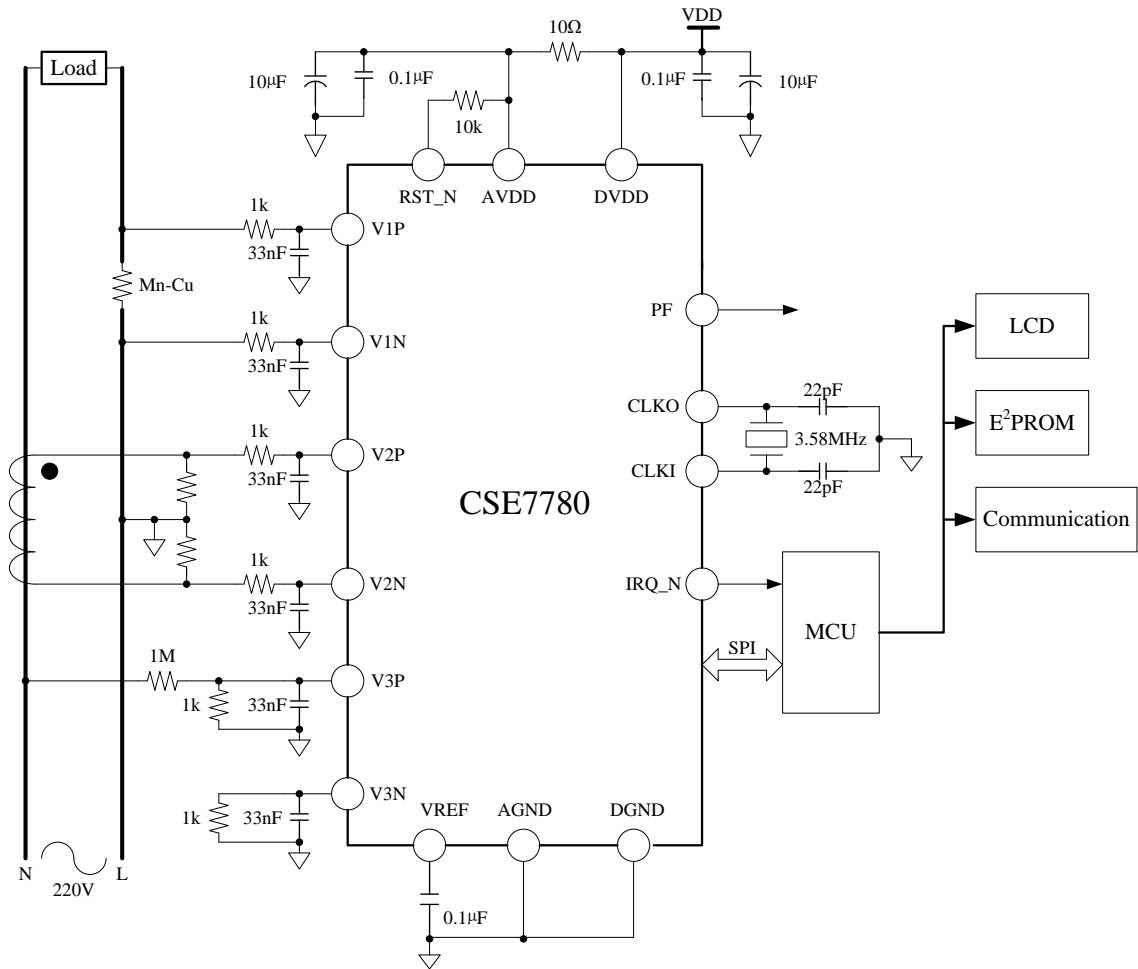


图 3 单相防窃电表典型应用

注：在 UI 通道 PGA 都为=1 时， $U_{max} * I_{max} \leq V_{REF}^2 / 34.2$ ；
 U_{max} ：电压通道引脚上允许输入的最大信号量的峰峰值；
 I_{max} ：电流通道引脚上允许输入的最大信号量的峰峰值；
 建议：电压通道输入信号量 U_{rms} 在 180mV 左右。

2 系统功能

2.1 电源监测

CSE7780片内包含一个电源监测电路，连续对模拟电源（AVDD）进行监控。当电源电压低于 $4V \pm 0.1V$ 时芯片被复位，当电源电压高于 $4.3V \pm 0.1V$ 时芯片正常工作。

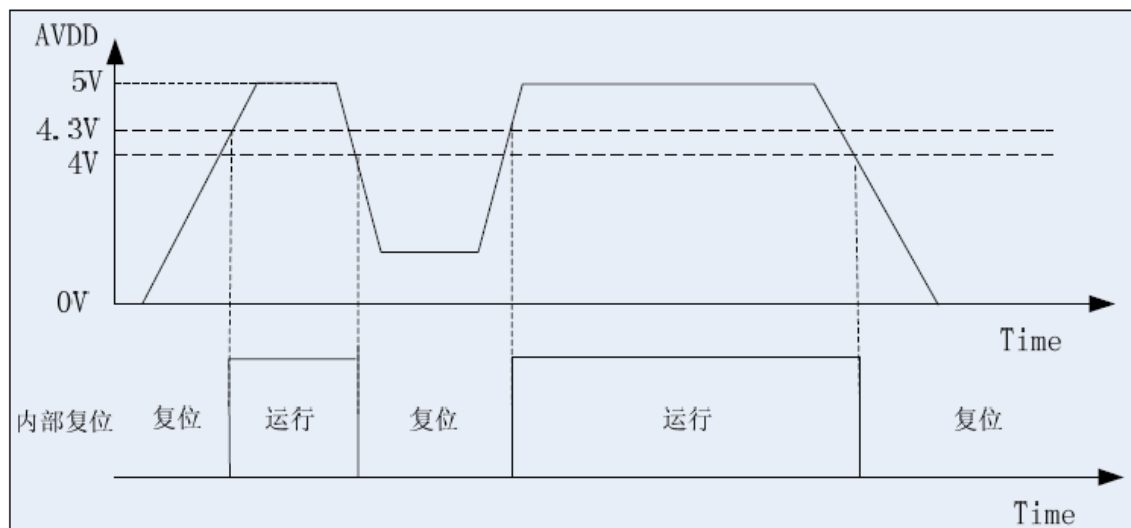


图 4 电源检测特性

为保证芯片正常工作，AVDD的波动不应超过 $5V \pm 5\%$ 。

2.2 系统复位

CSE7780 支持两种复位方式：

- 上下电；
- 外部引脚复位。

上述任一复位发生时，寄存器恢复到复位初值，外部引脚电平恢复到初始状态。

相关寄存器：

系统状态寄存器中的 RST 是复位标志：当外部 RST_N 引脚或者上电复位结束时，该位置 1，读后清零。可用于复位后校表数据请求。

2.3 模数转换

CSE7780包括三路ADC，一路用于相线电流采样，一路用于零线电流采样，一路用于电压采样。配置系统控制寄存器中的ADC20N 寄存器位打开/关闭电流通道B。

ADC采用全差分方式输入，电流、电压通道最大信号输入幅度为峰值700mV。

通过配置系统控制寄存器(SYSCON 0x00H)中的 Bit9~Bit7、Bit5~Bit0 位，可以分别对三路 ADC 配置放大倍数，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。

2.4 有功功率

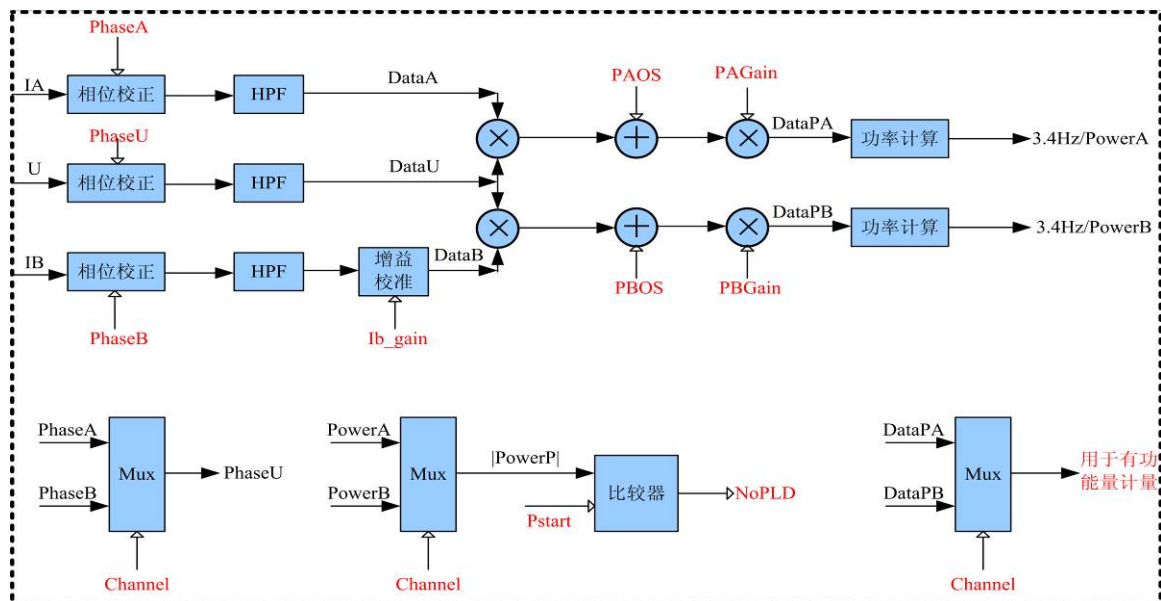


图 5 有功功率框图

CSE7780提供两路有功功率的计算和校正，分别为电流A和电压有功功率计算和校正、电流B和电压有功功率计算和校正。

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，还提供了电流通道的增益校正寄存器IBGain。

当前用于判断潜动和启动的平均有功功率(PowerP)通道，以及当前用于计算有功电能的瞬时有功功率通道(DataP)，由特殊命令决定。

用户可以通过特殊命令对通道选择进行配置，配置的结果可以通过Channel_sel 寄存器位进行查询。图中的数字高通滤波器主要是用于去除电流、电压采样数据中的直流分量。

2.5 有效值

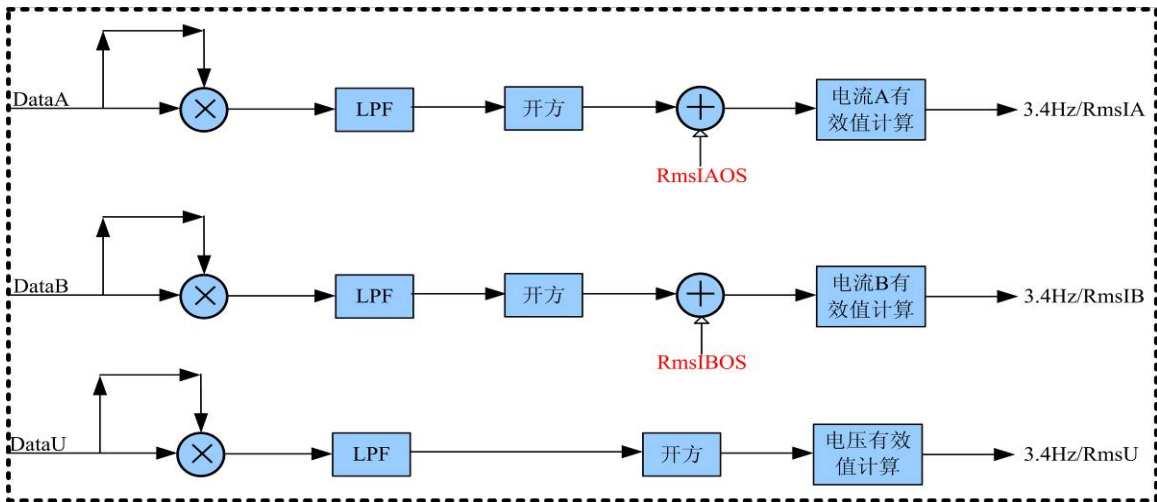


图6 有效值计算框图

CSE7780提供三个通道的真有效值参数输出，包括RmsU、RmsIA、RmsIB。字长为24bits，3.4Hz更新一次。此外还包括两个有效值Offset寄存器：RmsIAOS和RmsIBOS。

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。

2.6 能量计算

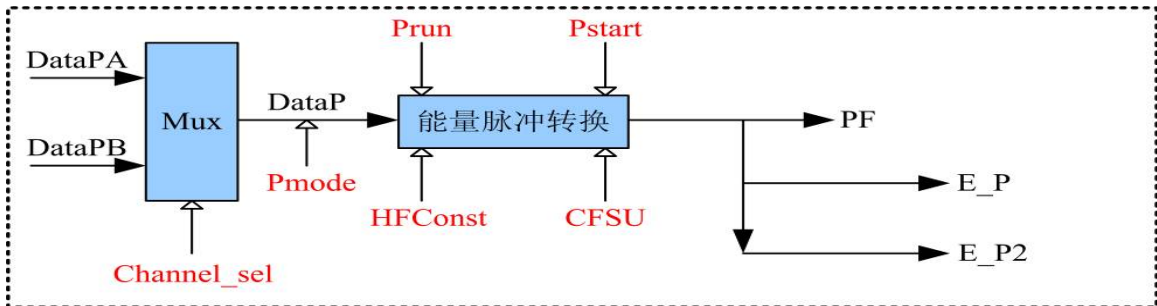


图7 能量计算

能量脉冲输出：

脉冲输出，也即校表脉冲输出，可以直接接到标准电能表进行误差比对。

PF输出满足下面时序关系：

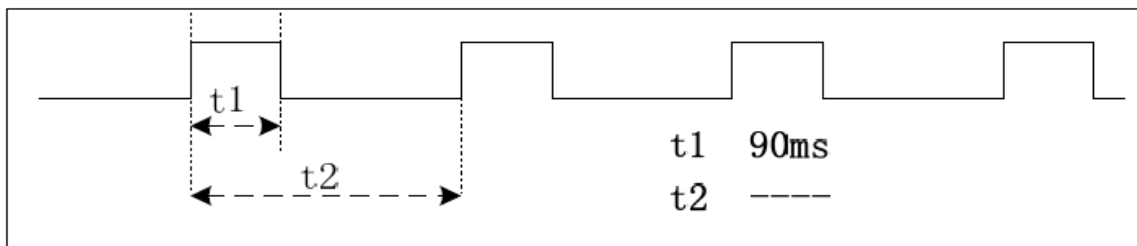


图8 PF输出时序

注意：当脉冲输出周期小于180ms时，脉冲以50%的占空比输出。

PFCnt、HFConst、脉冲输出、能量寄存器的关系：

当PFCnt (0x20H)=HFConst (0x03H)时，PF 有一个脉冲输出，同时能量寄存器EnergyP (0x29H) 和EnergyP2 (0x2AH) 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PF输出还受到PRun以及PStart的控制。

当PRun=0或者|P|小于PStart时，PF不输出脉冲，PFCnt和有功能量寄存器不增加。

脉冲输出加速：

为加快小信号校正速度，提供脉冲输出加速功能。在小信号校正时可以配置EMUCON (0x01H) 寄存器的CFSUEN和CFSU[1:0]位，使PF的输出频率提高，最快可以提高16倍。

反向指示：

当有功功率为负时，EMUStatus寄存器的REVP位会变为1，REVP位与PF脉冲同步更新。

2.7 通道切换

CSE7780专门提供一路ADC用于零线电流有效值和有功功率测量，并提供相线电流和零线电流通道的切换功能，供用户选择用某一路电流计量有功电能。

电流通道切换是通过特殊命令字来实现的。通过寄存器位Channel_sel可以查询配置结果。

2.8 频率测量

CSE7780可以直接输出线频率参数(Ufreq 0x25H)，测量基波频率，测量带宽250Hz。

2.9 过零检测

通过配置ZXCFC (EMUCON. 7) 选择引脚IRQ_N/ZX开启/关闭过零输出。

通过配置ZXD1 (EMUCON. 9)、ZXD0 (EMUCON. 8) 寄存器位选择四种过零输出方式。

2.10 中断

当通信接口选择为SPI时，CSE7780中断资源包括1个中断允许寄存器IE、2个中断状态寄存器IF和RIF、一个复用的中断请求管脚IRQ_N/ZX。

2.10.1 SPI 读 RIF 寄存器过程

MCU读RIF操作的时序如图9 所示：

1) 在SCLK时钟的驱动下，MCU先通过SDI引脚发出读寄存器命令，在读命令字节最后一个比特 (LSB) 的SCLK下降沿清中断状态寄存器IF，而此时RIF寄存器内容保持不变，同时IRQ_N由低电平变为高电平。

2) 芯片响应读RIF命令，在SCLK时钟的驱动下，将RIF寄存器内容移出SDO引脚。RIF在此过程中始终保持读操作前的值，而IF寄存器在SPI该过程中能接收新的中断。

3) 在最后一个比特移出SDO后，SCSN由低至高时将RIF寄存器的内容和IF同步。

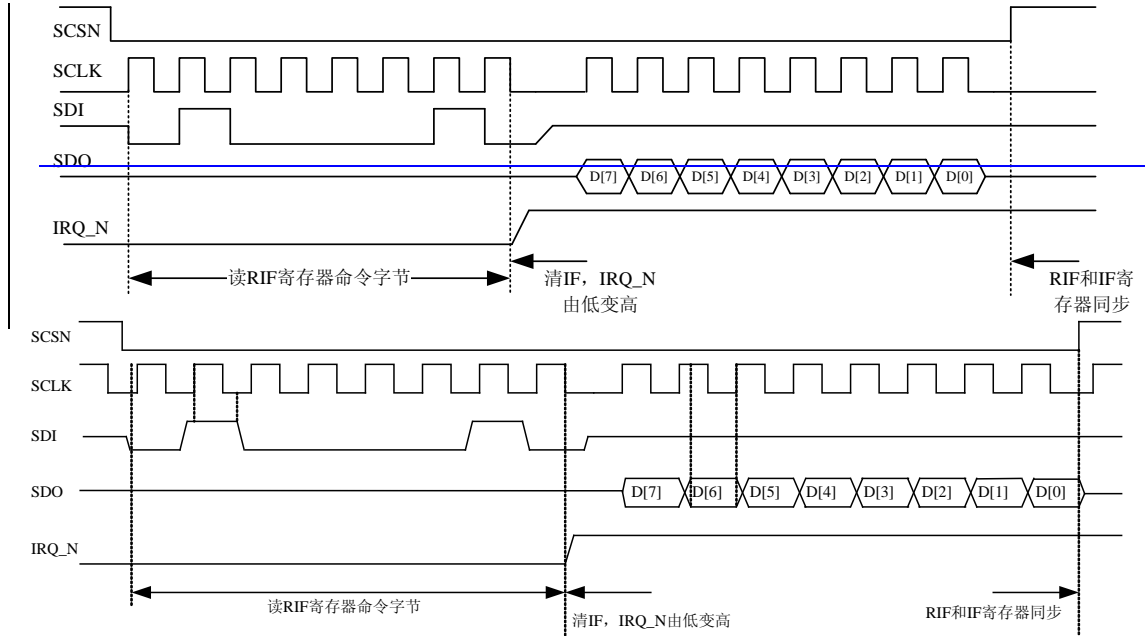


图 9 读 RIF 寄存器时序图

除了读RIF寄存器操作，其他情况下IF和RIF都保持一致。为了在SPI读中断标志过程中不丢失中断，在中断处理程序中推荐用户使用RIF寄存器。

2.10.2 中断请求信号 IRQ_N

IRQ_N/ZX引脚为IRQ_N和过零检测输出ZX复用，通过配置EMUCON寄存器（0x01H）的ZXCFC位确定该引脚的用途。

当中断允许寄存器相应的中断允许位使能且中断事件发生时，IRQ_N引脚为低电平。当CPU通过SPI接口读RIF，先写命令寄存器，在写完命令字节最后一个比特（LSB）的SCLK下降沿，IRQ_N引脚恢复为高电平，如图9所示。

2.10.3 中断处理过程

硬件：CSE7780的IRQ_N通常和MCU的外部中断管脚/INT相连，当IRQ_N由高变低时MCU产生/INT中断。MCU作为SPI主机，CSE7780作为SPI从机。

中断处理程序：

步骤一：MCU中断初始化

1. MCU读CSE7780 RIF，清IF和RIF中断标志；
2. 配置CSE7780 IE寄存器，使能需要的中断允许位以产生IRQ_N；
3. MCU使能/INT外部中断，等待CSE7780中断事件发生，IRQ_N输出触发/INT中断，跳入/INT的中断入口地址。

步骤二：MCU 中断服务程序

1. 关闭MCU全局中断和/INT中断；

2. MCU通过SPI读RIF寄存器，清IF和RIF寄存器，将IRQ_N恢复到高电平；
3. MCU通过判断RIF的中断标志来判断CSE7780的中断源，转而执行相应的中断处理程序。在此过程中，CSE7780若发生新的中断事件，IF相关标志置位，IRQ_N也会由高变低，触发MCU /INT中断标志置位，记录了此事件；
4. 执行完中断处理程序，MCU打开全局中断和/INT中断，并恢复现场后中断返回。中断返回后，若检测到/INT中断标志，程序又进入到外部中断ISR中，重复2。若未检测到/INT中断标志，说明中断处理过程中未发生中断事件，程序继续运行。

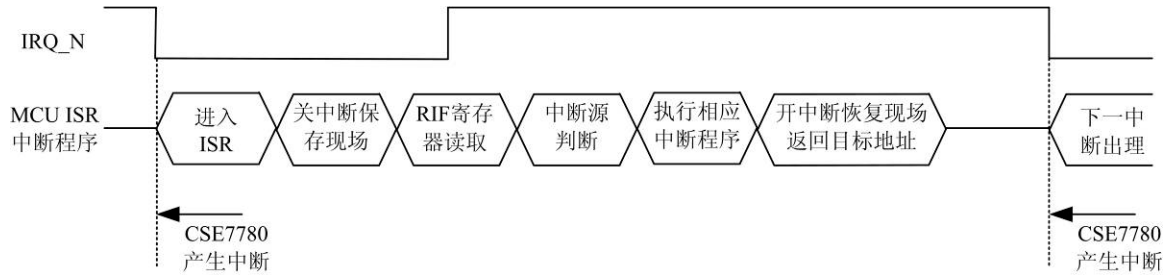


图 10 CSE7780 中断处理过程

2.11 寄存器

2.11.1 寄存器列表

表 2 CSE7780 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	0080h	系统控制寄存器	Yes	R/W
01H	EMUCON	2	0001h	计量控制寄存器	Yes	R/W
02H	HFConst	2	1000h	脉冲频率寄存器	Yes	R/W
03H	Pstart	2	0060h	有功起动功率设置	Yes	R/W
04H	保留					
05H	PAGain	2	0000h	通道 A 功率增益校正寄存器	Yes	R/W
06H	PBGain	2	0000h	通道 B 功率增益校正寄存器	Yes	R/W
07H	PhaseA	1	00h	通道 A 相位校正寄存器	Yes	R/W
08H	PhaseB	1	00h	通道 B 相位校正寄存器	Yes	R/W
09H	保留					
0AH	PAOS	2	0000h	通道 A 有功功率 Offset 校正	Yes	R/W
0BH	PBOS	2	0000h	通道 B 有功功率 Offset 校正	Yes	R/W
0CH	保留					
0DH	保留					
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
计量参数和状态寄存器						
20H	PFCnt	2	0000h	快速有功脉冲计数	Yes	R/W

21H	保留					
22H	RmsIA	3	000000h	通道 A 电流的有效值		R
23H	RmsIB	3	000000h	通道 B 电流的有效值		R
24H	RmsU	3	000000h	电压有效值		R
25H	Ufreq	2	0000h	电压频率		R
26H	PowerA	4	00000000h	有功功率 A		R
27H	PowerB	4	00000000h	有功功率 B		R
28H	保留					
29H	E_P	3	000000h	有功能量, 读后不清零		R
2AH	E_P2	3	000000h	有功能量, 读后清零		R
2BH	保留					
2CH	保留					
2DH	EMUStatus	3	00EF1Eh	计量状态及校验和寄存器(3)		R
中断寄存器						
40H	IE	1	00h	中断允许寄存器(4)	Yes	R/W
41H	IF	1	00h	中断标志寄存器(5)		R
42H	RIF	1	00h	复位中断状态寄存器(6)		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
7FH	DeviceID	3	778000h	芯片 ID		R

注意：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。

2.11.2 校表参数寄存器

系统控制寄存器

表 3 系统控制寄存器

SYSICON (SYSTEM Control Register) 地址:0x00H 默认值: 0080H		
位	名称	功能描述
15-10	保留	不可写, 读出为 0。仍按照 2 个 byte 寄存器操作。
9, 5, 4	PGAIB[2:0]	电流通道 B 模拟增益选择位: 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。
8, 3, 2	PGAU[2:0]	电压通道模拟增益选择位, 配置同 PGAIB。
7, 1, 0	PGAIA[2:0]	电流通道 A 模拟增益选择位, 配置同 PGAIB。
6	ADC20N	=1, 表示 ADC 电流通道 B 开启; =0, 表示 ADC 电流通道 B 关闭, 输出恒为 0。

计量控制寄存器

表 4 计量控制寄存器

EMUCON(Energy Measure Control Register)		地址:0x01H 默认值: 0001H
位	名称	功能描述
15-14	保留	读出为 0。
13-12	保留	读出为 0。
11-10	PMode[1:0]	有功能量累加方式选择: PMode =2' b00, 正反向功率都参与累加, 累加方式是代数和方式, 负功率有 REVP 符号指示; PMode =2' b01, 只累加正向功率; PMode =2' b10, 正反向功率都参与累加, 累加方式是绝对值方式, 无负功率指示; QMode =2' b11, 保留, 模式同 PMode =2' b00 相同。
9	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。
8	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。
7	ZXCFG	=0, 引脚 IRQ_N/ZX 作为 IRQ_N; =1, 引脚 IRQ_N/ZX 作为 ZX。
6	HPFIOFF	=0, 使能 IA 和 IB 通道数字高通滤波器; =1, 关闭 IA 和 IB 通道数字高通滤波器。
5	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。
4	CFSUEN	CFSUEN 是 PF 脉冲输出加速模块的控制位 =0, 关闭脉冲加速模块, 脉冲正常输出; =1, 使能脉冲加速模块, 脉冲的输出速率提高 $2^{(CFSU[1:0]+1)}$ 倍。
3-2	CFSU[1:0]	该位和 CFSUEN 配合使用。
1	保留	读出为 0。
0	PRUN	=0, 关闭 PF 脉冲输出和有功电能寄存器累加; =1, 使能 PF 脉冲输出和有功电能寄存器累加, 默认为 1。

脉冲频率寄存器

HFConst	地址:0x02H 默认值:1000H		
W/R	Bit15	14.....1	Bit0

HFConst 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HFConst的值, 那么就会有PF脉冲输出。

潜动与启动阈值寄存器

Pstart	地址:0x03H 默认值:0060H		
W/R	Bit15	14.....1	Bit0

启动阈值可由PStart寄存器配置。它是16位无符号数，做比较时，将其与PowerP（32bit有符号数）的高24位的绝对值进行比较，进行启动判断。

$|\text{PowerP}| < \text{PStart}$ 时，PF不输出脉冲。

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

包括两个寄存器：PAGain和PBGain，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正。PBGain用于电流通道B和电压通道有功功率的增益校正。校正范围为正负100%。对于电流通道A, 校正公式为： $P1=P0(1+\eta_{\text{PAGain}})$ 。对于电流通道B, 校正公式为： $P1=P0(1+\eta_{\text{PBGain}})$ 。其中 η_{PAGain} 和 η_{PBGain} 分别为PAGain和PBGain增益校正寄存器的归一化值。

相位校正寄存器

PhaseA	地址:0x07H 默认值:00H		
W/R	Bit7	6...5	Bit4...Bit0
	符号位	保留位	数据位

PhaseB	地址:0x08H 默认值:00H		
W/R	Bit7	6...5	Bit4...Bit0
	符号位	保留位	数据位

包括IA和U通道的相位校正PhaseA以及IB和U通道的相位校正PhaseB。这两个寄存器均为带符号二进制补码，Bit0~Bit4和Bit7有效，其中Bit7为符号位。

1 LSB代表 $1/895\text{kHz}=1.12\mu\text{s}/\text{LSB}$ 的延时，在50Hz下，1LSB代表 $1.12\mu\text{s} \times 360^\circ \times 50/10^6=0.02^\circ/\text{LSB}$ 相位校正。相位校正范围：50Hz下， $\pm 0.62^\circ$ 。

有功 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

有功OFFSET校正适合小信号的精度校正。这两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。

有效值Offset校正寄存器

RmsIAOS	地址:0x0EH 默认值:0000H		
---------	--------------------	--	--

W/R	Bit15	14……1	Bit0
-----	-------	-------	------

RmsIBOS	地址:0x0FH 默认值:0000H		
W/R	Bit15	14……1	Bit0

有效值Offset校正寄存器用于电流有效值小信号精度的校正。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。

电流通道B 增益设置

IBGain	地址:0x10H 默认值:0000H		
W/R	Bit15	14……1	Bit0

电流通道B增益设置寄存器用于防窃电表两路电流通道的一致性校正。一致性校正是在100%I_b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，表示范围(-1, +1)。

如果 $IBGain \geq 2^{15}$ ，则 $\eta_{IBGain} = (IBGain - 2^{16}) / 2^{15}$ ；否则 $\eta_{IBGain} = IBGain / 2^{15}$ 。

通道B电流在校正之前为IB1，校正之后为IB2，两者关系为： $IB2 = IB1 + IB1 * \eta_{IBGain}$ 。

2.11.3 计量参数寄存器

快速脉冲计数器

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

为了防止上下电时丢失电能，掉电时MCU将寄存器PFCnt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中去。

当快速脉冲计数寄存器PFCnt值等于HFConst值时，PF会有脉冲溢出，能量寄存器的值会相应的加1。

电流电压有效值寄存器

RmsIA	地址:0x22H 默认值:000000H		
R	Bit23	22……1	Bit0

RmsIB	地址:0x23H 默认值:000000H		
R	Bit23	22……1	Bit0

RmsU	地址:0x24H 默认值:000000H		
R	Bit23	22……1	Bit0

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；参数更新的频率为3.4Hz。

电压频率寄存器

Ufreq	地址:0x25H 默认值:0000H		
R	Bit15	14……1	Bit0

主要测量基波频率，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： $f=CLKIN/8/Ufreq$ 。

例如，如果系统时钟为CLKIN=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0.7s。

平均有功功率寄存器

PowerA	地址:0x26H 默认值:00000000H		
R	Bit31	30……1	Bit0

PowerB	地址:0x27H 默认值:00000000H		
R	Bit31	30……1	Bit0

有功功率参数PowerA/B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。

有功电能寄存器

E_P	地址:0x29H 默认值:000000H		
R	Bit23	22……1	Bit0

E_P寄存器是累加型有功能量寄存器。在0xFFFFF 溢出到0x000000时，会产生溢出标志PEOIF(参见IF 0x41H)。

电能参数是无符号数，E_P的寄存器值代表PF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。

有功电能寄存器2

E_P2	地址:0x2AH 默认值:000000H		
R	Bit23	22……1	Bit0

E_P2寄存器是清零型有功能量寄存器。

计量状态寄存器

表5 计量状态寄存器

EMUStatus(EMU STATUS Register) 地址:0x2DH 默认值:00EF1EH		
位	名称	功能描述
23-11	保留	读出为 0
21	Channel_sel	电流通道选择状态标识位。默认为 0。 =1 表示当前用于计算有功的电流通道为通道 B; =0 表示当前用于计算有功的电流通道为通道 A;
20	保留	读出为 0
19	Nopld	当有功功率小于起动功率时，Nopld 被置为 1；否则置为 0。
18	保留	读出为 0
17	REVP	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 PF 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CSE7780专门提供一个寄存器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PhaseA和PhaseB, 将其扩展为双字节后累加, 扩展的字节为00H。

CSE7780参与校验和计算的寄存器地址是00H-10H, 根据CSE7780默认值计算得到的校验和为0xEF1E。

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、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。

2.11.4 中断状态寄存器

中断配置和允许寄存器

该寄存器适用于SPI。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。

表 6 中断允许寄存器

IE(Interrupt Enable Register) 地址:0x40H 默认值: 0000H		
位	名称	功能描述
7-6	保留	不可写, 读出为 0。
5	ZXIE	ZXIE=0:关闭过零中断; ZXIE=1:打开过零中断。
4	保留	读出为 0。
3	PEOIE	PEOIE=0:关闭有功电能寄存器溢出中断; PEOIE=1:打开有功电能寄存器溢出中断。
2	保留	读出为 0。
1	PFIE	PFIE=0:关闭 PF 中断; PFIE=1:打开 PF 中断。
0	DUPDIE	DUPDIE =0:关闭数据更新中断; DUPDIE =1:打开数据更新中断。(3.4Hz)

表 7 中断状态寄存器

IF(Interrupt Flag Register) 地址:0x41H 默认值: 0000H		
位	名称	功能描述
7-6	保留	不可写, 读出为 0。
5	ZXIF	ZXIF =0:未发生过零事件; ZXIF =1:发生过零事件。
4	保留	读出为 0。
3	PEOIF	PEOIF=0:未发生有功电能寄存器溢出事件; PEOIF=1:发生有功电能寄存器溢出事件。
2	保留	读出为 0。
1	PFIF	PFIF=0:未发生 PF 脉冲输出事件;

		PFIF=1:发生 PF 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。(3.4Hz)

IF 适用于SPI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 中断标志的产生不受中断允许寄存器IE的控制，只由中断事件是否发生决定。

IF 为只读寄存器，读后清零。

表 8 复位中断状态寄存器

RIF(Reset Interrupt Flag Register) 地址:0x42H 默认值: 0000H		
位	名称	功能描述
7-6	保留	不可写, 读出为 0。
5	RZXIF	RZXIF =0: 未发生过零事件; RZXIF =1: 发生过零事件。
4	保留	读出为 0。
3	RPEOIF	RPEOIF=0: 未发生有功电能寄存器溢出事件; RPEOIF=1: 发生有功电能寄存器溢出事件。
2	保留	读出为 0。
1	RPFIF	RPFIF=0: 未发生 PF 脉冲输出事件; RPFIF=1: 发生 PF 脉冲输出事件。
0	RDUPDIF	RDUPDIF =0: 未发生数据更新事件; RDUPDIF =1: 发生数据更新事件。

对于SPI, 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 读中断标志寄存器过程中仍然能接收新的中断而设计。

2.11.5 系统状态寄存器

系统状态寄存器

表9 系统状态寄存器

SysStatus(System Status Register)		地址: 0x43H	只读
位	位名称	功能描述	
7-5	保留	读出为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	读出为0。	
2	保留	读出为0。	
1	保留	读出为0。	
0	RST	硬件复位标志。当外部RST_N 引脚或者上电复位结束时, 该位置1。读后清零。可用于复位后校表数据请求。	

SPI读校验寄存器

RData		地址:0x44H 默认值:00000000H	
R	Bit31	30……1	Bit0

RData(0x44H) 寄存器保存前次SPI读出的数据, 可用于SPI读出数据时的校验。

SPI写校验寄存器

Wdata		地址:0x45H 默认值:0000H	
R	Bit15	14……1	Bit0

WData(0x45H) 寄存器保存前次 SPI 写入的数据, 可用于 SPI 写入数据时的校验。

3 校表方法

3.1 概述

CSE7780 可以实现软件校表，经过校正的仪表，有功精度可达 0.5s 级，CSE7780 的校正手段包括

- 电表常数 (HFConst) 可调
- 提供 A/B 通道的增益校正和一致性校正
- 提供 A/B 通道的相位校正
- 提供 A/B 通道的有功和有效值 offset 校正
- 提供小信号加速校正功能
- 提供校表数据自动校验功能

3.2 校表流程和参数计算

在对 CSE7780 设计的单相液晶表进行校正时，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 PF 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 CSE7780 进行校正。

3.2.1 校表流程

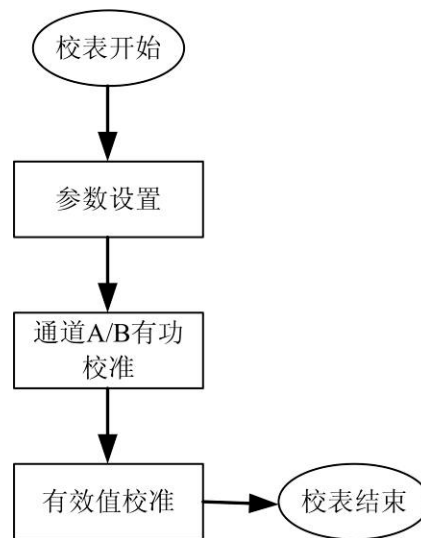


图 11 校表流程

3.2.2 参数设置

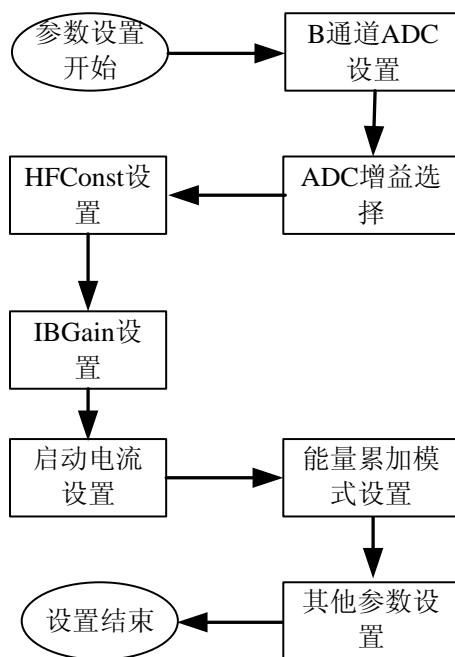


图 12 参数设置流程

HFConst 参数计算:

OSCI=3.579545MHz, HFConst的计算公式(以A通道的电流大小进行计算):

$$\text{HFConst} = \text{INT}[39.3143 * V_u * V_i * 10^{11} / (\text{EC} * U_n * I_b)]$$

V_u : 额定电压输入时, 电压通道的电压(引脚上电压×放大倍数);

V_i : 额定电流输入时, 电流通道的电压(引脚上电压×放大倍数);

U_n : 额定输入的电压; I_b : 额定输入的电流; EC: 脉冲常数。

IBGain的计算:

$$\eta_{\text{IBGain}} = (I_A - I_B) / I_B$$

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

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

I_A : A电流通道的电流(RmsIA寄存器值);

I_B : B电流通道的电流(RmsIB寄存器值)。

3.2.3 有功校正

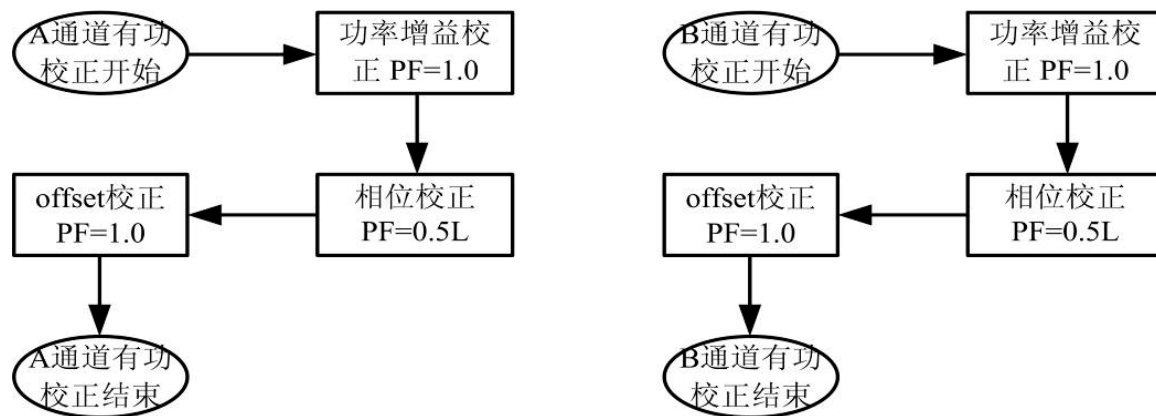


图 13 有功校正流程

1. A 通道功率增益校正可通过配置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：

$$\eta_{\text{PAGain}} = -\text{err} / (1 + \text{err})。$$

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

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

B通道功率增益校正可通过配置PBGain寄存器实现，方法同PAGain。

2. A/B通道相位校正寄存器的计算方法：

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：

$$\theta = \arcsin(-\text{err} / \sqrt{3})。$$

对50HZ，PhaseA/B有0.02°/LSB的关系，则有

如果 $\theta \geq 0$ ，PhaseA/B = INT[$\theta / 0.02$]；

如果 $\theta < 0$ ，PhaseA/B = INT[$2^8 + \theta / 0.02$] - 96。

3. 有功offset 校正是在外部噪声（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Un、A通道5%Ib、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：

$$\text{PAOS} = \text{INT}[-(\text{PA} * \text{err})]；$$

PBOS寄存器计算过程与此相同。

3.2.4 有效值校正

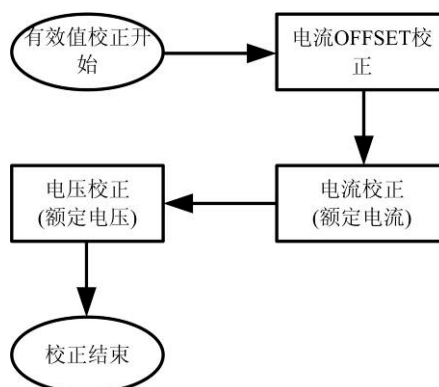


图 14 有效值校正流程

1. 电流offset校正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Iave[23:0];
 - 5) 对Iave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校正结束
- RmsIBOS校正公式和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 的校正, 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RmsIAreg, 则 $K_{iA}=I_b/\text{RmsIAreg}$ 。
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。

3.3 举例

假设设计一块220V(U_n)、10A(I_b)额定输入, 脉冲常数为1200imp/kWh(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

$V_u=0.16\text{V}$, $V_i=10*0.00025*16=0.040\text{V}$, $EC=1200\text{imp/kWh}$, $U_n=220\text{V}$,
 $I_b=10\text{A}$ 。
 $\text{HFConst}=\text{INT}[39.3143*V_u*V_i*10^{11}/(EC*U_n*I_b)]=9530=253\text{AH}$, 取整后HFConst为253AH, 将该值写入HFConst寄存器, 完成HFConst校正。

2: A通道有功校正

2.1 A通道功率增益校正

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:

$\eta_{\text{PAGain}} = -0.012/(1+0.012)=-0.01186$, $\eta_{\text{PAGain}} < 0$, $\text{PAGain}=\text{INT}[2^{16} + \eta_{\text{PAGain}} * 2^{15}] = -0.01186 * 2^{15} + 2^{16} = 0x\text{FE7BH}$, 将FE7BH写入PAGain寄存器, 完成A通道增益校正。

2.2 A通道相位校正

校正阻性增益后, 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通道相位校正。

2.3 A通道offset校正

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 $err=0.3\%$ ，PowerA寄存器的值为PA=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 $PAOS = INT[-(000F5AB7H * 0.3\%)] = F436H$ ；

B通道有功校正和A通道类似。

3: 有效值校正

芯片提供了电流有效值偏置校正寄存器，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通道有效值校正。

B通道有效值校正和A通道类似。

4 通讯接口

4.1 SPI 接口信号说明

SCSN : SPI 从设备片选信号，低电平有效，输入信号，内部悬空，建议外接上拉电阻；SCSN 由高电平变为低电平时，表示当前芯片被选中，处于通讯状态；SCSN 由低变电平变为高电平，表示通讯结束，通讯口复位处于空闲状态。在每一次的读/写操作结束之后，必须拉高 SCSN 使，复位 SPI 接口复位等待下一次的读/写操作。

SCLK: 串行时钟输入脚，决定数据移出或移入 SPI 口的传输速率。

所有的数据传输操作均与 SCLK 同步，CSE7780 在上升沿将数据从 SDO 引脚输出；主机在上升沿将数据从 SDI 引脚输出，CSE7780 和主机都在下降沿读取数据。

SDI: 串行数据输入脚，用于把主设备数据传输到 CSE7780 芯片内部。

SDO: 串行数据输出脚，用于把 CSE7780 的数据传输给主设备，SCSN 为高时，为高阻。

4.2 SPI 帧格式

SPI 是四线制：CS、SDI、SDO 和 SCLK，包括一个读寄存器 RDATA 和一个写寄存器 WDATA。所用数据传输操作均与 SCLK 同步，CSE7780 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。

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 10 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，指定当前用于计算有功电能的电流通道为通道 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的电流通道为通道 B。

4.3 SPI 写操作

工作过程:

- 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：
- 1). 以字节为单位传输，高比特位在前，低比特位在后；
 - 2). 多字节寄存器，先传输高字节内容，再传输低字节内容；
 - 3). 主机在 SCLK 上升沿写数据，从机在 SCLK 下降沿读取数据；
 - 4). 数据字节之间的时间 t_1 要大于等于半个 SCLK 周期；
 - 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。
 - 6). 在开始下一次写或者读操作时，SCSN 高电平持续时间要大于 1 个系统时钟周期。

注意：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。

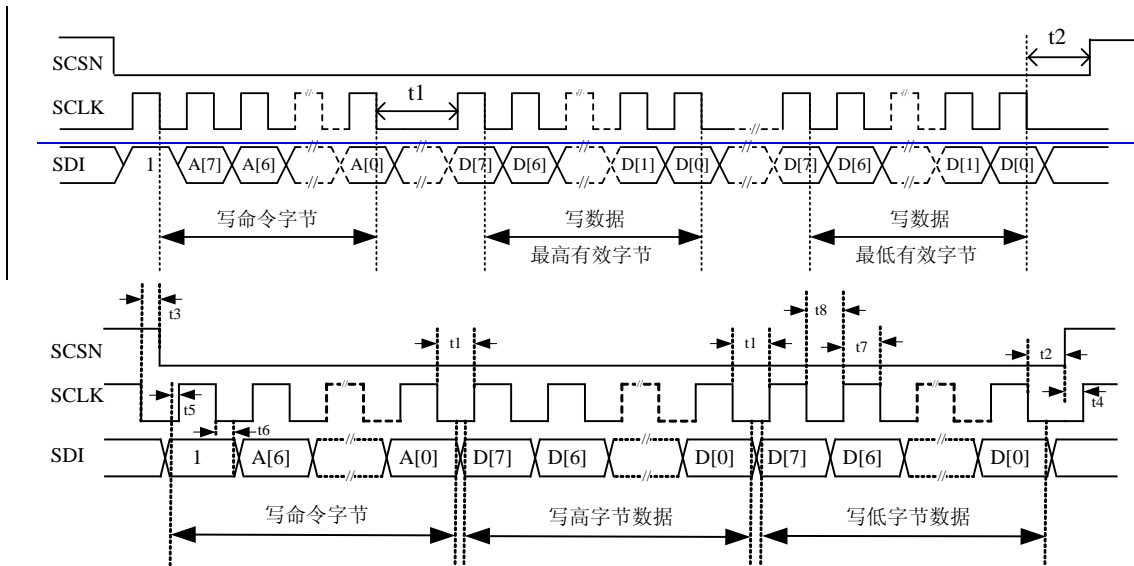


图 15 SPI 写操作时序

(DVDD=AVDD=5V, DGND=VGND=0V, CLKI=3.579545MHz, 常温)

		min	typ	max	unit
t ₁	数据字节之间 SCLK 维持低电平的时间	558.8	-	-	ns
t ₂	最后一个 sclk 的下降沿与 CSSN 上升沿之间的时间间隔	558.8	-	-	ns
t ₃	SCSN 下降沿之前 SCLK 保持为低的时间	5	-	-	ns
t ₄	SCSN 上升沿之后 SCLK 保持为低的时间	5	-	-	ns
t ₅	在 SCLk 上升沿之前，SDI 上有效数据的建立时间	5	-	-	ns
t ₆	在 SCLk 下降沿之后，SDI 上有效数据的保持时间	279.4	-	-	ns

t ₈	SCLK 的高电平宽度	558.8	-	4.55ms	ns
t ₉	SCLK 的低电平宽度	558.8	-	4.55ms	ns

4.4 SPI 读操作

工作过程:

主机在 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, 高比特位在前, 低比特位在后;
- 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 上升沿写命令字节, 从机在 SCLK 上升沿将数据从 SDO 输出;
- 4). 数据字节之间的时间 t₁ 要大于等于半个 SCLK 周期;
- 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 t₂ 要大于等于半个 SCLK 周期;
- 6). 在开始下一次写或者读操作时, SCSN 高电平持续时间要大于 1 个系统时钟周期。

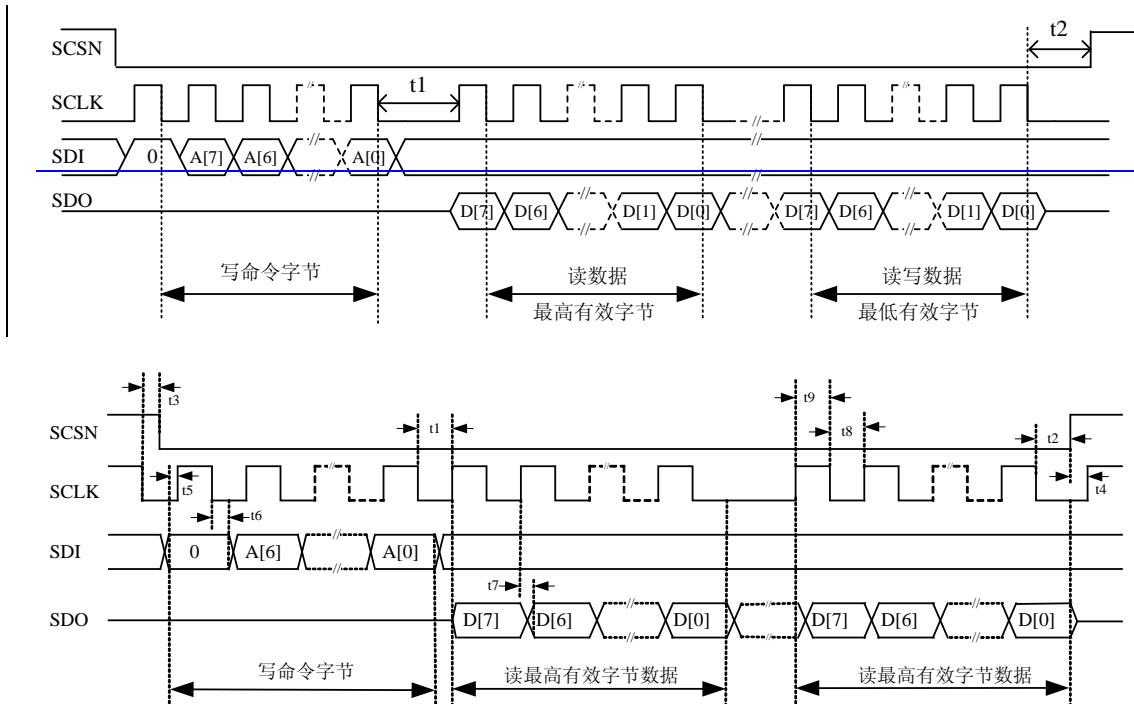


图 16 SPI 读操作时序

(DVDD=AVDD=5V, DGND=VGND=0V, CLKI=3.579545MHz, 常温)

		min	type	max	unit
t ₇	在 SCLK 上升沿之后, SDO 能稳定输出所需要的时间	50	-	-	ns

5 电气特性

表 11 电气特性

参数	符号	最小值	典型值	最大值	单位
精度					
有功电能测量误差, 在动态范围 2000:1	ERR	-	±0.1	-	%
有效值测量误差, 在动态范围 400:1 (信号输入频率 50Hz 或者 60Hz)	ERR	-	-	±0.5	%
模拟输入					
最大信号电平	Vpp	-	-	±700	mV
直流输入阻抗	Zdc	300	-	-	kΩ
ADC 失调误差	DCoff	-	10	-	mV
电源 (AVDD=DVDD=5V±5%, 温度范围: -40°C~+85°C)					
模拟电源	AVDD	-	5	-	V
数字电源	AVDD	-	5	-	V
功耗 (AVDD = DVDD = 5 V)	Idd	-	6	-	mA
基准电压					
输出电压	VREFOUT	-	+2.45	-	V
温漂 (注释 1)	TC _{VREF}	-	25	-	ppm/°C
输入阻抗	-	-	2	-	kΩ
时钟					
主时钟频率	MCLK	3.1	3.579545	4.6	MHz
主时钟占空比	-	45	-	55	%
SPI 接口速度					
SPI 接口速率	-	-	-	MCLK/4	Hz

注释: 1. 温度范围内 VREF 的温漂计算公式如下:

$$TC_{VREF} = \left(\frac{VREFOUT_{MAX} - VREFOUT_{MIN}}{VREFOUT_{AVG}} \right) \left(\frac{1}{T_{A_MAX} - T_{A_MIN}} \right) (1 \times 10^6)$$

表 12 极限额定值

参数	符号	最小值	典型值	最大值	单位
数字电源	DVDD	-0.3	-	+6.0	V
模拟电源	AVDD	-0.3	-	+6.0	V
DVDD to DGND		-0.3	-	+6.0	V
DVDD to AVDD		-0.3		+0.3	V
V1P, V1N, V2P, V2N, V3P, V3N,		-6		+6	V
模拟输入电压	V_{INA}	-0.3	-	AVDD+0.3	V
数字输入电压	V_{IND}	-0.3	-	DVDD+0.3	V
数字输出电压	V_{OUTD}	-0.3	-	DVDD+0.3	V
工作环境温度	T_A	-40	-	85	°C
存储温度	T_{stg}	-65	-	150	°C

6 芯片封装

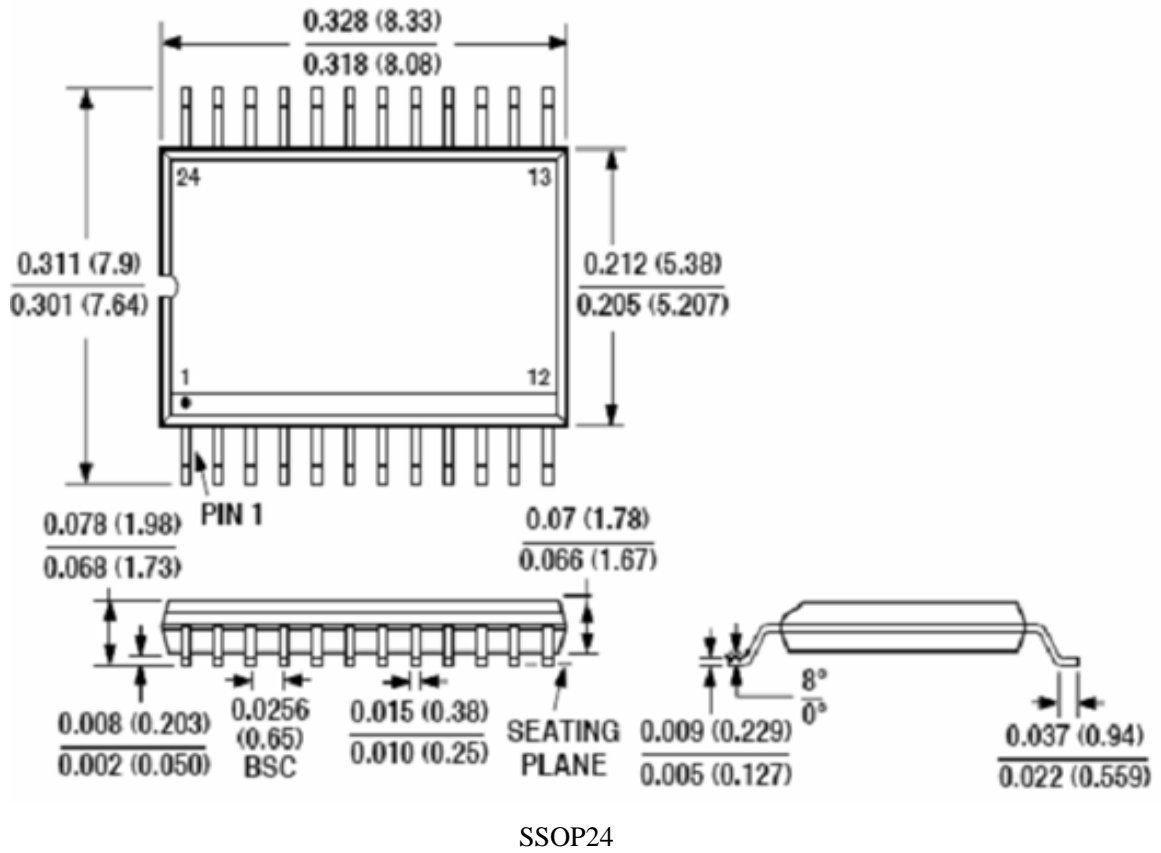


图 19 CSE7780 封装尺寸