



CSE7776BS 用户手册

Rev.1.0

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
2012-12-16	初版发行	1.0

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	5
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	8
2.5 有效值	9
2.6 能量计算	9
2.7 频率测量	11
2.8 中断	11
2.8.1 SPI 读 RIF 寄存器过程	11
2.9 寄存器	11
2.9.1 寄存器列表	11
2.9.2 校表参数寄存器	13
2.9.3 计量参数寄存器	16
2.9.4 中断状态寄存器	18
2.9.5 系统状态寄存器	19
3 校表方法	20
3.1 概述	20
3.2 校表流程和参数计算	20
3.2.1 校表流程	20
3.2.2 参数设置	21
3.2.3 有功校正	21
3.2.4 有效值校正	23
3.3 举例	24
4 通讯接口	25
4.1 SPI 接口信号说明	25
4.2 SPI 帧格式	25
4.3 SPI 写操作	26
4.4 SPI 读操作	26
5 电气特性	28
6 芯片封装	30

1 芯片介绍

1.1 芯片特性

✓ 计量

- 提供 2 路 24 位高精度 Σ - Δ ADC
- 有功电能误差在 3000:1 的动态范围内 $<0.1\%$ ，支持 IEC62053-22:2003 标准
- 提供一路电压、一路电流有效值测量，在 1000:1 的动态范围内，有效值误差小于 $<0.5\%$
- 2 路 24 位 ADC 瞬时值输出功能
- 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
- 提供增益校正
- 提供相位校正
- 提供有功 offset 校正
- 提供有效值 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

✓ 提供三线制和四线制兼容的 SPI 接口, 5V/3.3V 接口均可

✓ 具有电源监测功能

✓ 单+5V 电源供电，功耗为 20mW

✓ 内置 2.4V $\pm 3\%$ 参考电压，温度系数典型值为 15ppm/ $^{\circ}\text{C}$

✓ 采用 SOP16 无铅封装

1.2 功能简介

CSE7776BS 能够测量有功功率、有功电能，并能提供有功功率和电流有效值、电压有效值、线频率等。

CSE7776BS 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。CSE7776BS 提供 SPI 串行接口，方便与外部 MCU 之间进行通讯。

CSE7776BS 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

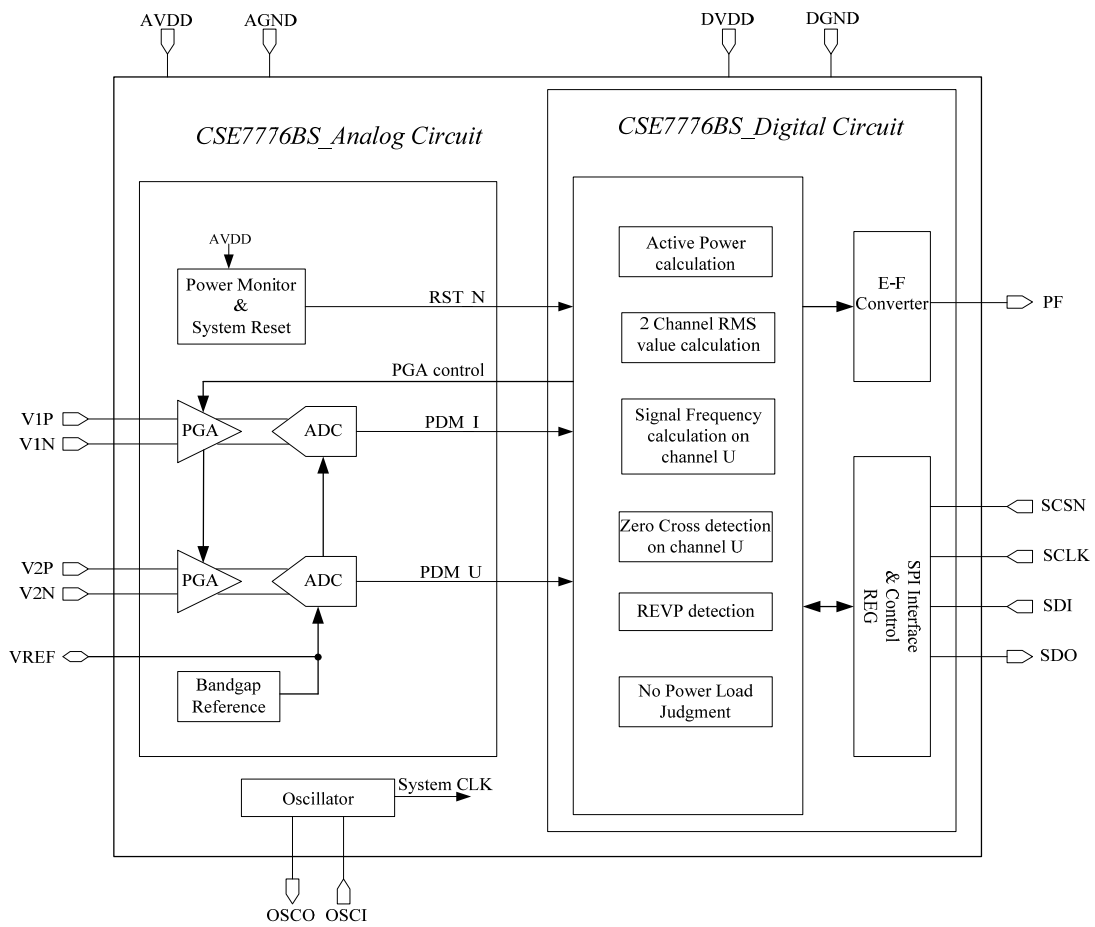


图 1 芯片原理框图

1.4 管脚定义

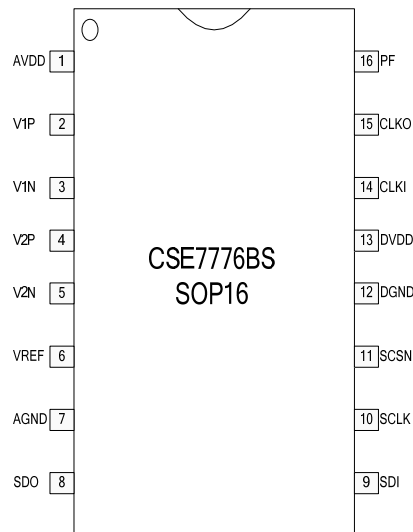


图 2 芯片管脚图

表 1 CSE7776BS 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, 3	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，正常应用时允许输入的最大峰-峰值电压为 \pm 800mV。
4, 5	V2P, V2N	输入	电压通道的模拟输入引脚；采用全差分输入方式，正常应用时允许输入的最大峰-峰值电压为 \pm 800mV。
6	VREF	输入/ 输出	2.4V 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 μ F 的电容进行去耦。
7	AGND	电源	模拟地。
8	SDO	输出	SPI 串行数据输出口 SDO；复位后输出高阻态。
9	SDI	输入	该引脚为 SPI 串行数据输入。
10	SCLK	输入	该引脚为 SPI 串行时钟输入。
11	SCSN	输入	该引脚为 SPI 片选信号；低有效，内部悬空，由外部上拉。
12	DGND	电源	数字地。
13	DVDD	电源	数字电源；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。
14	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。
15	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。
16	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。

1.5 典型应用

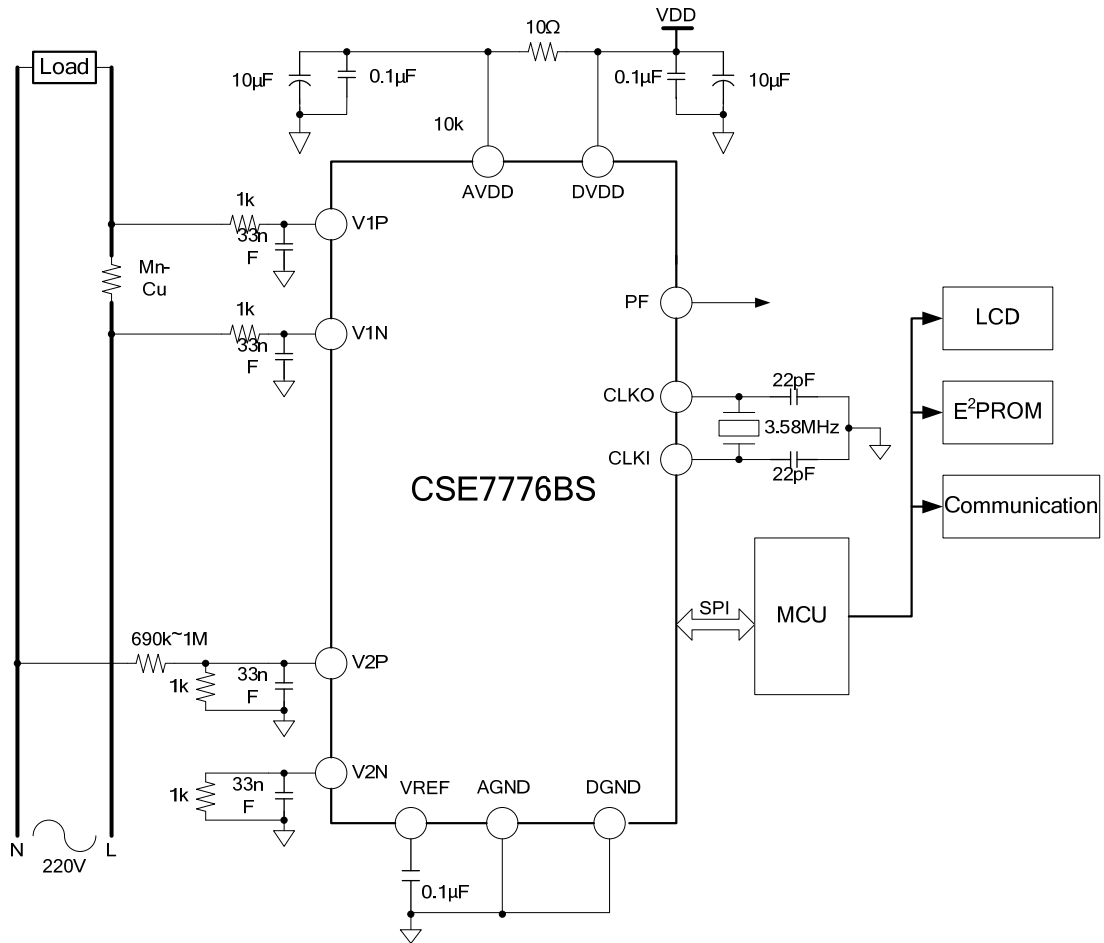


图 3 单相表典型应用

2 系统功能

2.1 电源监测

CSE7776BS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。

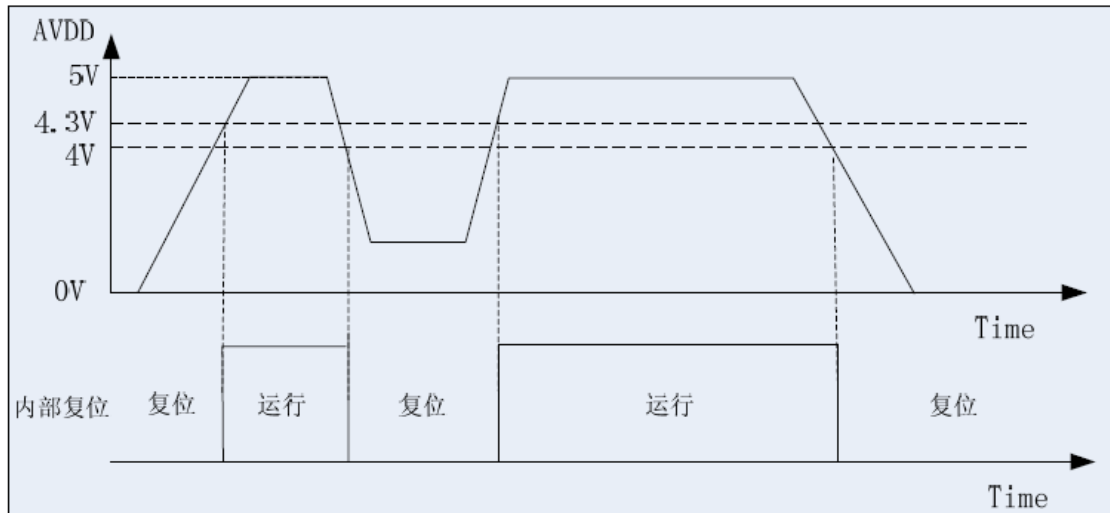


图 4 电源检测特性

为保证芯片性能，AVDD的波动不应超过 $5V \pm 5\%$ 。

2.2 系统复位

CSE7776BS 支持上下电复位方式：

复位发生时，寄存器恢复到复位初值。

相关寄存器：

系统状态寄存器中的 RST 是复位标志：当上电复位结束时，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

CSE7776BS包括两路ADC，一路用于相线电流采样，一路用于电压采样。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800mV。

通过配置系统控制寄存器 (SYSCON)，可以分别对两路 ADC 配置放大倍数，放大倍数 5 档可选：1、2、4、8、16。电流通道的增益放大倍数默认为 16 倍，电压通道默认增益为 1。

2.4 有功功率



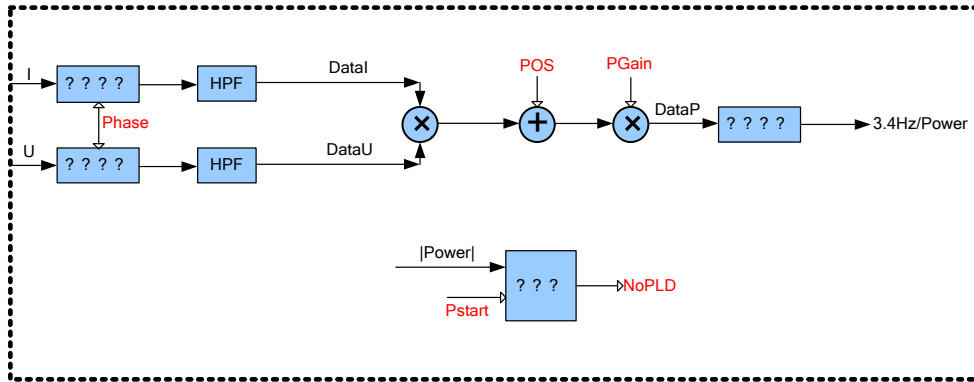


图 5 有功功率框图

CSE7776BS提供有功功率的计算和校正，分别为电流和电压有功功率计算和校正。

寄存器包含相位校正、有功Offset校正、有功增益校正和平均功率寄存器。

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

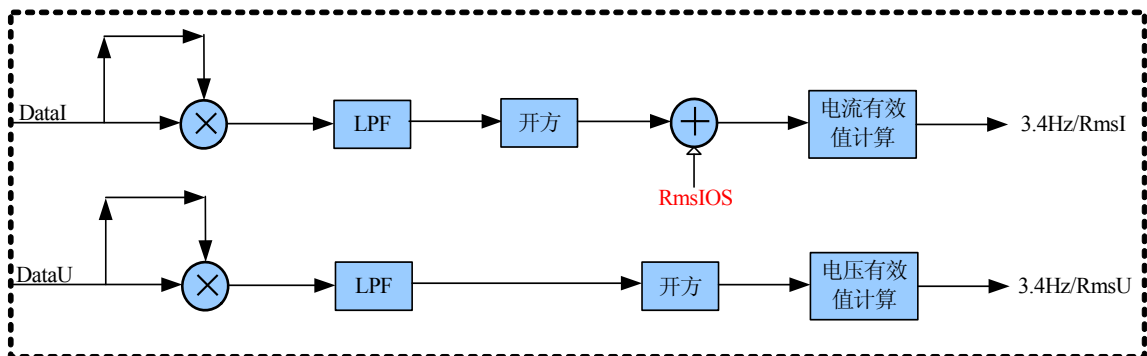


图6 有效值计算框图

CSE7776BS提供两个通道的真有效值参数输出，包括RmsU、RmsI。字长为24bits，3.4Hz更新一次。此外还包括有效值Offset寄存器：RmsIOS。
注：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

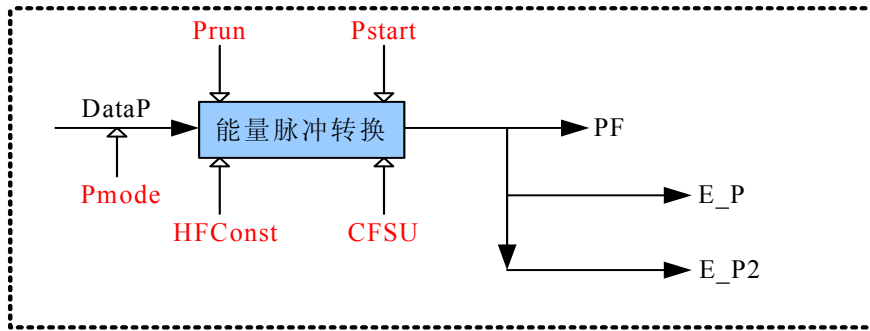


图 7 能量计算

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:

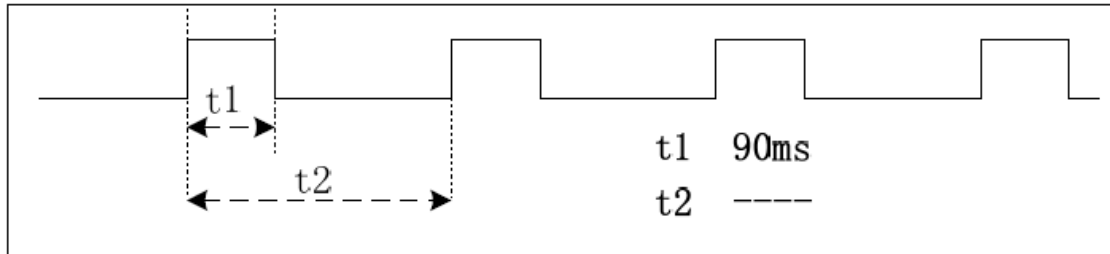


图 8 PF 输出时序

注意: 当脉冲输出周期小于 180ms 时, 脉冲以 50%的占空比输出。

PFCnt、HFCnst、脉冲输出、能量寄存器的关系:

当 $PFCnt(0x20H) \geq HFCnst(0x03H)$ 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 频率测量

CSE7776BS可以直接输出线频率参数(Ufreq 0x25H)，测量基波频率，测量带宽250Hz。

2.8 中断

当通信接口选择为SPI时，CSE7776BS中断资源包括2个中断状态寄存器IF和RIF。

2.8.1 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。

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。

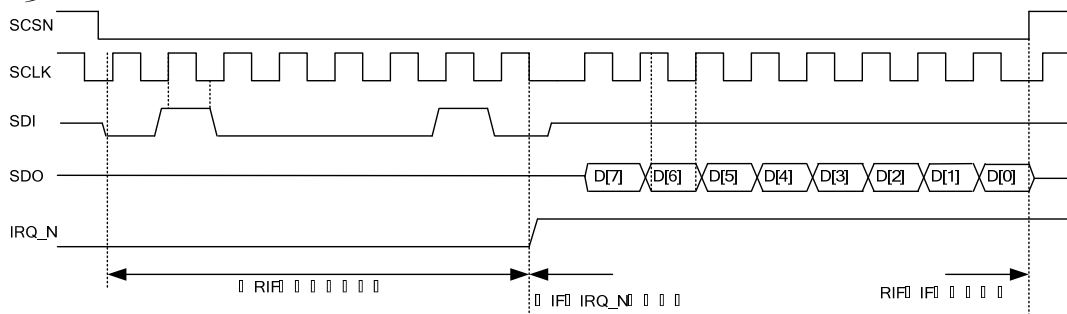


图9 读 RIF 寄存器时序图

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。

2.9 寄存器

2.9.1 寄存器列表

表2 CSE7776BS 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	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	Pstart	2	0060h	有功起动功率设置	Yes	R/W
04H	保留					
05H	PGain	2	0000h	功率增益校正寄存器	Yes	R/W

06H	保留					
07H	Phase	1	00h	相位校正寄存器	Yes	R/W
08H	保留					
09H	保留					
0AH	POS	2	0000h	有功功率 Offset 校正	Yes	R/W
0BH	保留					
0CH	保留					
0DH	保留					
0EH	RmsIOS	2	0000h	电流有效值 Offset 补偿	Yes	R/W
18H	SELCON	1	00h	选择控制寄存器	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	RmsI	3	000000h	电流的有效值		R
23H	保留					
24H	RmsU	3	000000h	电压有效值		R
25H	Ufreq	2	0000h	电压频率		R
26H	Power	4	00000000h	有功功率		R
27H	保留					
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	00EF1Fh	计量状态及校验和寄存器(3)		R
中断寄存器						
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

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。

2.9.2 校表参数寄存器

系统控制寄存器

表 3 系统控制寄存器

SYSCON (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, 6, 5, 4		设为 0
8, 3, 2	PGAU[2:0]	电压通道模拟增益选择位, 配置同 PGAI。
7, 1, 0	PGAI[2:0]	电流通道模拟增益选择位: PGAI[2:0]=1XX, 电流通道的 PGA=16; PGAI[2:0]=011, 电流通道的 PGA=8; PGAI[2:0]=010, 电流通道的 PGA=4; PGAI[2:0]=001, 电流通道的 PGA=2; PGAI[2:0]=000, 电流通道的 PGA=1。

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: 0000H		
--	--	--

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； PMode =2' b11, 保留，模式同 PMode =2' b00 相同。
9, 8, 7	保留	设为 0
6	HPFIOFF	=0, 使能 I 通道数字高通滤波器； =1, 关闭 I 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，默认为 0； =1, 使能 PF 脉冲输出和有功电能寄存器累加。

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Power（32bit有符号数）的高24位的绝对值进行比较，进行起动的判断。

$|\text{Power}|$ 小于PStart时，PF不输出脉冲。

增益校正寄存器

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

PGain，为二进制补码格式，最高位为符号位。

PGain用于电流通道和电压通道有功功率的增益校正。校正范围为正负100%。校正公式为： $P_1 = P_0(1 + \eta_{\text{PGain}})$ 。其中 η_{PGain} 为PGain增益校正寄存器的归一化值。

相位校正寄存器

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

I和U通道的相位校正Phase。这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。

当SELCON[0]=0时，相位校准范围是 $-0.62^\circ \sim +0.62^\circ$ ，bit6、bit5为保留位，不可写，读出为0；当SELCON[0]=1时，相位校准范围是 $-2.56^\circ \sim +2.56^\circ$ 。

有功 Offset 校正寄存器

POS	地址:0x0AH 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。这个寄存器均为二进制补码格式，最高位为符号位。

POS 寄存器为电流通道 I 和 U 通道有功功率 Offset 校准值。

有效值Offset校正寄存器

RmsIOS	地址:0x0EH 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。这个寄存器均为二进制补码格式，最高位为符号位。

RmsIOS寄存器为电流有效值Offset校准值。

选择控制寄存器

SELCON			Addr:0x18H 默认值: 0000H
位	名称	功能描述	
1~7	0	注意：初始化时，请全部写0。不能写1。	
0	Phase_sel	相位校准范围选择	

当SELCON[0]=0时，相位校准范围是 $-0.62^{\circ} \sim +0.62^{\circ}$ ；当SELCON[0]=1时，相位校准范围是 $-2.56^{\circ} \sim +2.56^{\circ}$ 。

2.9.3 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值大于等于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

RmsI	地址:0x22H 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

Power	地址:0x26H 默认值:0000000H		
R	Bit31	30……1	Bit0

有功功率参数Power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。

Power是U通道和I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0xFFFFFFFF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: 00EF1FH
位	名称	功能描述
23-11	保留	读出为 0
21	保留	
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CSE7776BS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Phase，将其扩展为双字节后累加，扩展的字节为00H。

CSE7776BS参与校验和计算的寄存器地址是00H-0EH，根据CSE7776BS默认值计算得到的校验和为0xEF1F。

以下三种情况下，重新开始一次校验和计算：系统复位、00H-0EH 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。

2.9.4 中断状态寄存器

表 6 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		
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 为只读寄存器，读后清零。

表 7 复位中断状态寄存器

位	名称	功能描述
7-6	保留	不可写，读出为 0。
5		
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。

2.9.5 系统状态寄存器

系统状态寄存器

表8 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

CSE7776BS 可以实现软件校表，经过校正的仪表，有功精度可达 0.5s 级，CSE7776BS 的校正手段包括

- 电表常数 (HFConst) 可调
- 提供增益校正
- 提供相位校正
- 提供有功和有效值 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 CSE7776BS 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 CSE7776BS 进行校正。

3.2.1 校表流程

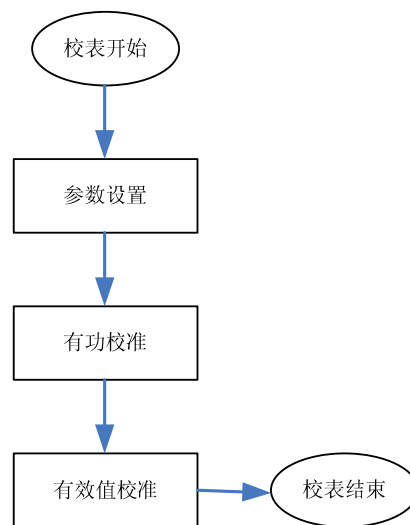


图 10 校表流程

3.2.2 参数设置

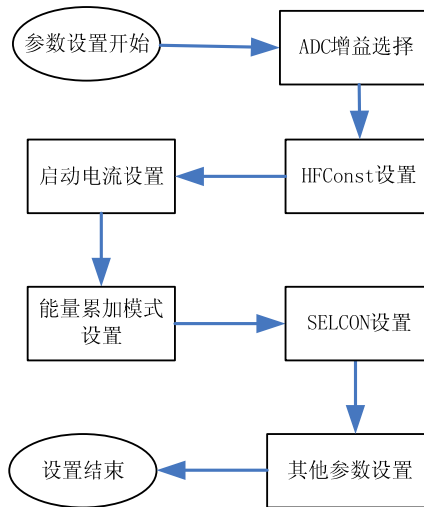


图 11 参数设置流程

HFConst 参数计算:

OSCI=3.579545MHz, HFConst的计算公式:

$$HFConst = \text{INT} [24.7544 * Vu * Vi * 10^{11} / (EC * Un * Ib)]$$

Vu: 额定电压输入时, 电压通道的电压 (引脚上电压×放大倍数);

Vi: 额定电流输入时, 电流通道的电压 (引脚上电压×放大倍数);

Un: 额定输入的电压; Ib: 额定输入的电流; EC: 脉冲常数。

3.2.3 有功校正

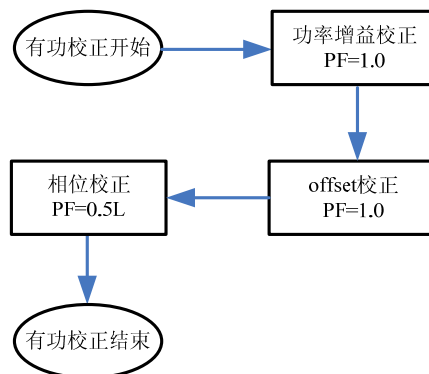


图 12 有功校正流程

1. 功率增益校正可通过配置PGain寄存器实现，PGain的计算方法如下：

若标准表在100%Ib、PF=1 上读出误差为err：

$$\eta_{PGain} = -err / (1 + err)。$$

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

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

2. 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、电流通5%Ib、PF=1情况下读出误差为err，Power寄存器的值为P（连续读取16次的平均值，Power刷新频率3.4Hz左右），那么POS寄存器的值计算过程如下：

$POS = INT[-(P * err / (1 + PGAIN))]$ ，PGAIN为增益误差。

3. 相位校正寄存器的计算方法：

若标准表在100%Ib、PF=0.5L条件下读出误差为err，则相位补偿公式：

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

CSE7776BS的相位校准范围受Phase_sel的控制，Phase_sel=0时相位校准范围是 -0.62° 至 $+0.62^\circ$ ；Phase_sel=1时相位校准范围是 -2.56° 至 $+2.56^\circ$ 。

当Phase_sel=0时相位校正寄存器的计算方法：

若标准表在100%Ib、PF=0.5L条件下读出误差为err，则相位补偿公式：

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

对50Hz，Phase有0.02度/LSB的关系，则有

如果 $\theta \geq 0$ ，Phase = INT[$\theta / 0.02$]。

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

当Phase_sel=1时相位校正寄存器的计算方法：

若标准表在100%Ib、PF=0.5L条件下读出误差为err，则相位补偿公式：

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

对50Hz，Phase有0.02度/LSB的关系，则有

如果 $\theta \geq 0$ ，Phase = INT[$\theta / 0.02$]。

如果 $\theta < 0$ ，Phase = INT[$2^8 + \theta / 0.02$]。

3.2.4 有效值校正

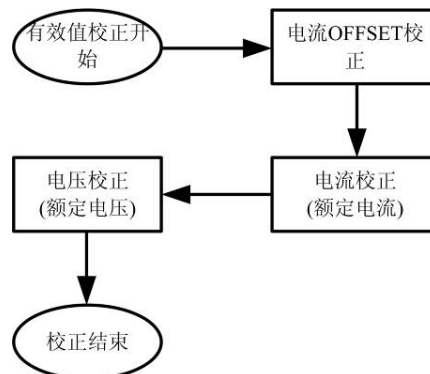


图 13 有效值校正流程

1. 电流 offset 校正可提高小信号电流有效值精度

RmsIOS 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 RmsI 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 RmsIOS 寄存器的 Bit15，取 Bit14~Bit0 填入 RmsIOS Bit14~Bit0 得 RmsIOS；
- 6) 有效值 offset 校正结束

2. 校好电流 offset 后，再进行电流转换系数 K_i 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 RmsI 寄存器读数为 $RmsI_{reg}$ ，则 $K_i = I_b / RmsI_{reg}$ 。其中 K_i 为额定输入时额定值与相应寄存器的比值。

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，电流通道使用 $250\mu\Omega$ 的锰铜，电流通道模拟通道增益为 16 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

$V_u=0.16V$, $V_i=10*0.00025*16=0.040V$, $EC=1200\text{imp/kWh}$, $U_n=220V$, $I_b=10A$ 。
 $HFConst = \text{INT}[24.7544 * V_u * V_i * 10^{11} / (EC * U_n * I_b)] = 9530 = 1770H$ ，取整后 HFConst 为 1770H，将该值写入 HFConst 寄存器，完成 HFConst 校正。

2: 有功校正

2.1 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：

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

2.2 offset校正

若标准表给电能表施加 U_n 、5% I_b 、PF=1 情况下读出误差为 $err=0.3\%$ ，Power 寄存器的值为 $P=000F5AB7H$ （连续读取 16 次的平均值，Power 刷新频率 3.4Hz 左右），那么 POS 寄存器的值为 $POS = \text{INT}[-(000F5AB7H * 0.3\%) / (1 + 0.012)] = F459H$ ；

2.3 相位校正

校完偏置后，给电能表施加 U_n 、100% I_b ，功率因数改为 0.5L。

若标准表显示误差为 -0.4%，则 $\theta > 0$

$Phase = \text{INT}[\theta / 0.02] = (\arcsin(-(-0.004) / \sqrt{3})) / 0.02 = 7$ ，输入 07H 到 Phase 寄存器，完成 A 通道相位校准；

若标准表显示误差为 0.4%，则 $\theta < 0$

$Phase = \text{INT}[\theta / 0.02] = (\arcsin(-(0.004) / \sqrt{3})) / 0.02 = -7$ ，在相位选择位 $Phase_sel=0$ 时输入 $(2^8 - 7 - 96) = 99H$ 到 Phase 寄存器；在 $Phase_sel=1$ 时输入 $(2^8 - 7) = F9H$ 到 Phase 寄存器。

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 RmsIOS 寄存器的 Bit15，取 Bit14~Bit0 填入 POS Bit14~Bit0 得 FD98H，写入 RmsIOS 寄存器，完成有效值校正。

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，复位 SPI 接口复位等待下一次的读/写操作。

如果将 SCSN 恒接为地，则 SPI 转为 3 线制工作方式。此时，MCU 无需控制 SCSN 引脚的电平，其它操作与 4 线制时相同。

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，CSE7776BS 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，CSE7776BS 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 CSE7776BS 芯片内部。

SDO：串行数据输出脚，用于把 CSE7776BS 的数据传输给主设备，SCSN 为高时，为高阻。

4.2 SPI 帧格式

SPI 为四线制工作模式时，使用 4 个引脚：SCSN、SDI、SDO 和 SCLK，CSE7776BS 内部包括一个读寄存器 RDATA 和一个写寄存器 WDATA。所用数据传输操作均与 SCLK 同步，CSE7776BS 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 SPI 操作期间如果两个 SCLK 上升沿超过 9.15ms (即 SPI 最低速率为 109.25Hz)，SPI 就会复位 SCLK 和 SDI 当前的接收，开始下一次的接收。

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]的寄存器中读取数据。 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。

复位指令	0xEA	0x96	复位指令。接收到该指令之后，芯片复位，内部寄存器复位成默认值。复位指令发送完成之后 2us 芯片复位成功，可以开始正常的操作。
------	------	------	---

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 上升沿之前写数据，从机在 SCLK 上升沿读取数据；
- 4). 数据字节之间的时间 t_1 要大于等于 2 个系统时钟周期；
- 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 2 个系统时钟周期。
- 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。

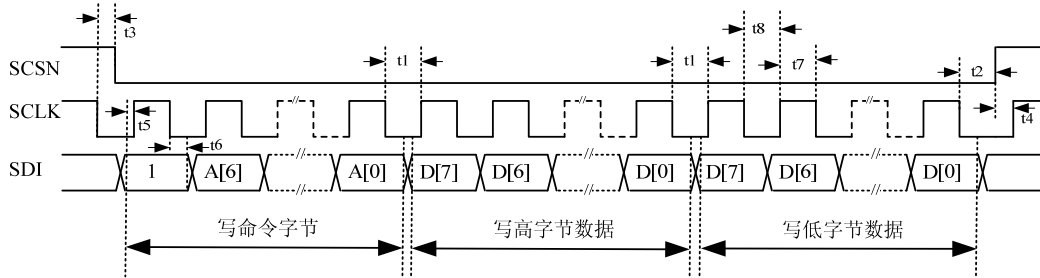


图 14 SPI 写操作时序

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

		min	type	max	unit
t1	数据字节之间 SCLK 维持低电平的时间	558.8	-	-	ns
t2	最后一个 sclk 的下降沿与 CSSN 上升沿之间的时间间隔	558.8	-	-	ns
t3	SCSN 下降沿之前 SCLK 保持为低的时间	5	-	-	ns
t4	SCSN 上升沿之后 SCLK 保持为低的时间	5	-	-	ns
t5	在 SCLK 上升沿之前，SDI 上有效数据的建立时间	5	-	-	ns
t6	在 SCLK 下降沿之后，SDI 上有效数据的保持时间	279.4	-	-	ns
t8	SCLK 的高电平宽度	558.8	-	4.55ms	ns
t9	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 t_1 要大于等于 2 个系统时钟周期；
- 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 2 个系统时钟周期；
- 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。

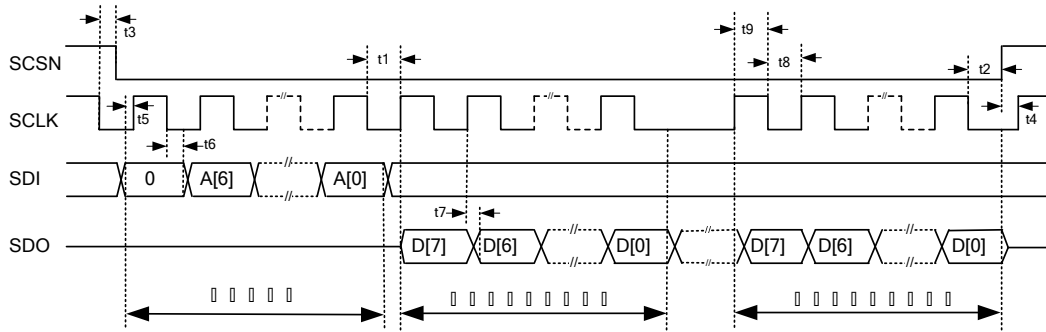


图 15 SPI 读操作时序

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

		min	type	max	unit
t7	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

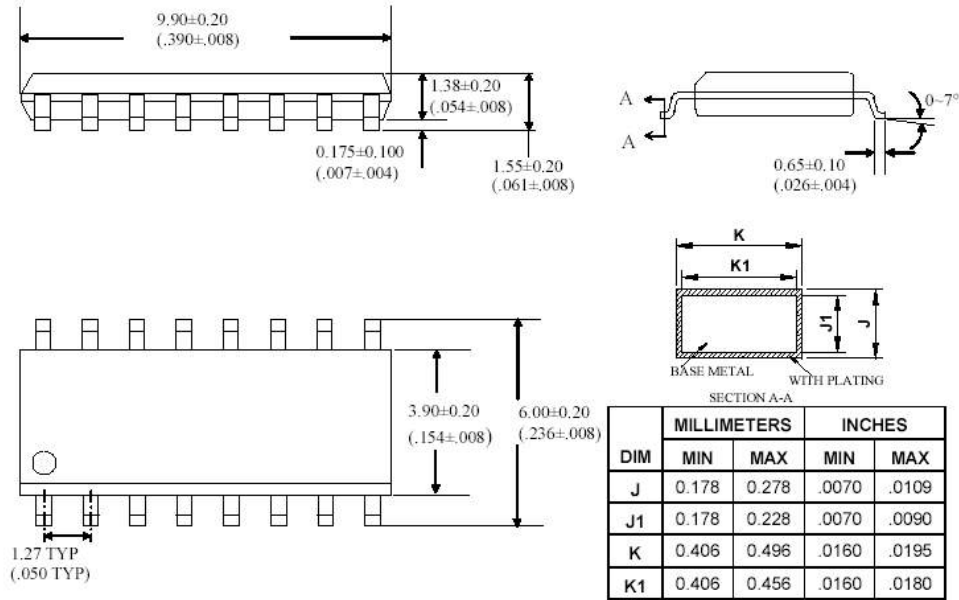
表 11 电气特性

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 3000:1	ERR	-	±0.1	-	%
有效值测量误差, 在动态范围 1000:1 (信号输入频率 50Hz 或者 60Hz)	ERR	-	-	±0.5	%
模拟输入					
最大信号电平	V _{pp}	-	-	±800	mV
直流输入阻抗	Z _{dc}	300	-	-	kΩ
ADC 失调误差	DC _{off}	-	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)	I _{dd}	-	4	-	mA
基准电压					
输出电压	V _{REFOUT}	-	+2.4	-	V
温漂 (注释 1)	TC _{VREF}	-	15	-	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

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



SOP16

图 16 CSE7776BS 封装尺寸