



合力为科技
HLW TECHNOLOGY®

HLW8110/HLW8112 用户手册

REV 2.0



智能计量 IC

DataSheet

HLW8110/HLW8112

1 应用领域

- 电表
- 充电桩/充电枪
- 光伏逆变电源检测
- 储能电池检测
- PDU 设备
- LED 照明
- 计量 PLUG
- 交通路灯
- 智能家电
- 漏电检测

2 特性

- ✓ 测量有功功率、视在功率、电压和电流有效值
- ✓ 提供两路电流检测通道和一路电压检测通道
- ✓ 第二路电流通道可以检测零线电流，具有漏电检测功能
- ✓ 在 5000:1 的动态范围内，有功电能的测量误差 $<0.1\%$
- ✓ 在 1000:1 的动态范围内，有效电压的测量误差 $<0.1\%$
- ✓ 在 1000:1 的动态范围内，有效电流的测量误差 $<0.1\%$
- ✓ 提供有功功率过载信号指示
- ✓ 提供电压信号的过零检测、过压检测和欠压检测
- ✓ 提供电流信号的过零检测、过流检测
- ✓ 内置比较器
- ✓ 内置温度传感器
- ✓ 内置 PGA 可选
- ✓ 内置频率振荡器
- ✓ 内置电压参考源
- ✓ 内置电源监控电路
- ✓ SPI/UART 通讯方式
- ✓ 提供 SOP8/SSOP16 两种封装型式

目录

1 应用领域.....	2
2 特性.....	3
3 概述.....	6
4 功能框图.....	6
5 引脚配置和功能描述.....	7
5.1 HLW8110 芯片管脚描述.....	7
5.2 HLW8110 典型应用.....	8
5.3 HLW8112 芯片管脚描述.....	8
5.4 HLW8112 典型应用.....	10
6 电气特性.....	10
6.1 推荐工作条件.....	10
6.2 模拟特性.....	10
6.3 数字特性.....	11
6.4 极限工作条件.....	12
7 功能概述.....	13
7.1 复位系统.....	13
7.2 时钟系统.....	13
7.3 模数转换.....	14
7.4 通道切换.....	14
7.5 有功功率.....	15
7.6 有效值.....	15
7.7 视在功率和功率因数 PF.....	16
7.8 能量计算.....	17
7.9 过零检测、相角、电压频率测量.....	18
7.10 峰值检测.....	21
7.11 过流、过压、过载检测.....	23
7.12 电压骤降检测.....	26
7.13 均值信号.....	28
7.14 瞬时信号和采样波形.....	28
7.15 温度传感器.....	29
7.16 比较器.....	30
8 寄存器描述.....	30
8.1 HLW8110/HLW8112 寄存器列表.....	30
8.2 校表参数寄存器.....	33

8.3 计量参数寄存器	41
8.4 计量状态寄存器	44
8.5 峰值、瞬时值和波形寄存器	44
8.6 中断状态寄存器	45
8.7 系统状态寄存器	48
9 免校表计算方法	49
9.1 电流有效值计算公式	50
9.2 电压有效值计算公式	50
9.3 有功功率计算公式	50
9.4 视在功率计算公式	50
9.5 有功能量计算公式	50
10 校表方法	51
10.1 校表概述	51
10.2 校表流程和参数计算	51
10.3 参数设置	52
10.4 有功校准	53
10.5 有效值校准	55
10.6 视在功率校准	55
10.7 举例	56
11 通讯协议	57
11.1 SPI 通讯	57
11.2 UART 通讯	60
12 芯片封装	63
12.1 HLW8110 封装图	63
12.2 HLW8112 封装图	64

3 概述

HLW8110/HLW8112 是一款高精度的电能计量 IC,它采用 CMOS 制造工艺,主要用于单相计量应用。它能够测量线电压和电流,并能计算有功功率,视在功率和功率因数。

该器件内部集成了三个 $\Sigma-\Delta$ 型 ADC 和一个高精度的电能计量内核。第二路通道可同时测量零线电流,支持窃电检测和漏电检测。各输入通道都支持灵活的 PGA 设置,因此 HLW8110/HLW8112 适合与不同类型的传感器使用,如电流互感器(CT)和低阻值分流器。

HLW8110 可以通过 UART 接口访问片内寄存器。

HLW8112 可以通过两种通讯接口访问片内寄存器,包括 SPI 和 UART。

HLW8112 包含两个可配置的脉冲输出引脚,可以通过 INT1 和 INT2 引脚实现过流检测、过压检测、电压过零检测或电流过零检测和漏电检测等功能。

HLW8110/HLW8112 电能计量 IC 提供宽工作电压范围,可以采用 3.3V 至 5.0V 之间的电源供电,且内置振荡器,HLW8110 采用 SOP8 封装,HLW8112 采用 SSOP16 封装。

4 功能框图

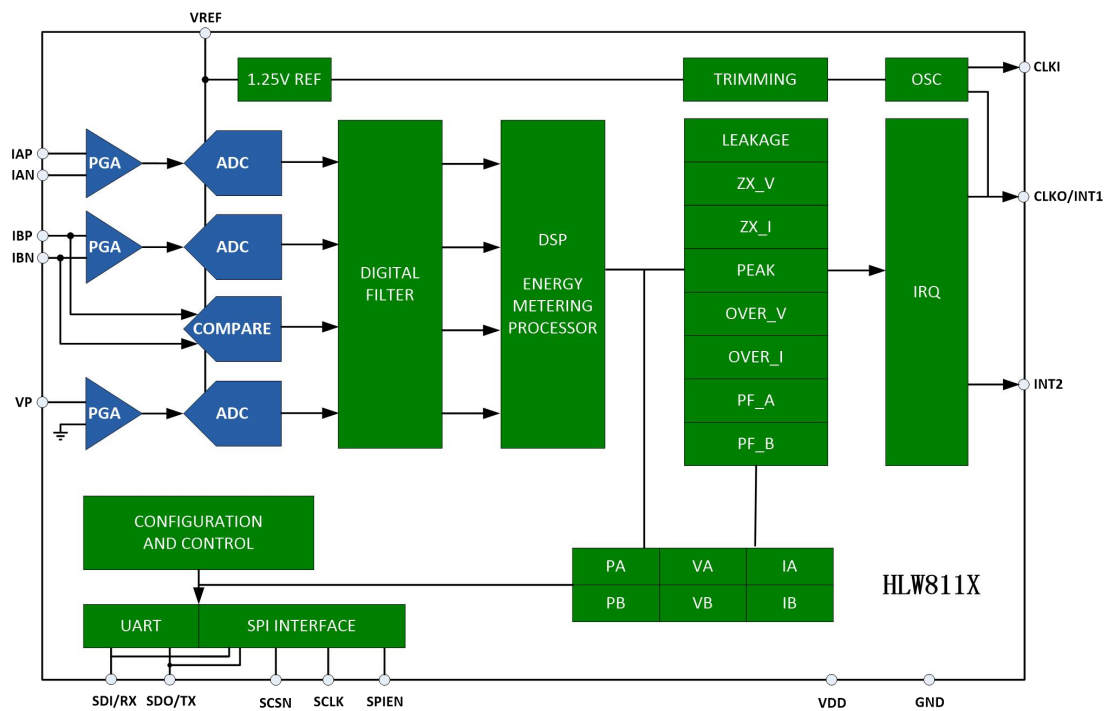


图 1 功能框图

5 引脚配置和功能描述

5.1 HLW8110 芯片管脚描述

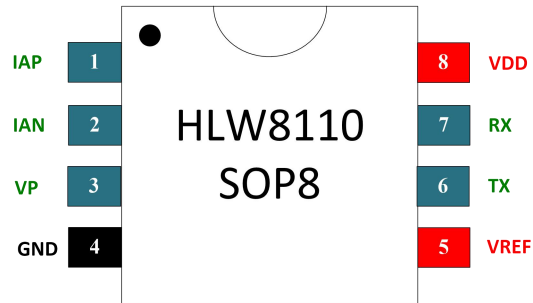


图 2 HLW8110 芯片管脚图

表 1 HLW8110 引脚功能描述

引脚序号	引脚名称	输入/输出	描述
1	IAP	模拟输入	电流通道 A 模拟输入，该差分电压的最大输入范围是峰值 V_{pp} 为 $\pm 800\text{mV}/\text{PGA}$ (有效值 $V_{rms} = (\pm 800\text{mV}/\sqrt{2})/\text{PGA}$)
2	IAN	模拟输入	电流通道 A 模拟输入，该差分电压的最大输入范围是峰值 V_{pp} 为 $\pm 800\text{mV}/\text{PGA}$ (有效值 $V_{rms} = (\pm 800\text{mV}/\sqrt{2})/\text{PGA}$)
3	VP	模拟输入	电压信号正输入端，电压的最大输入范围是峰值 V_{pp} 为 $\pm 800\text{mV}/\text{PGA}$ (有效值 $V_{rms} = (\pm 800\text{mV}/\sqrt{2})/\text{PGA}$)
4	GND	芯片地	芯片地
5	VREF	模拟输入/输出	通过该引脚可以使用片内基准电压，该引脚应通过一个 $0.1\mu\text{F}$ 电容并联去耦
6	TX	数字输出	UART 数据输出口
7	RX	数字输入	UART 数据输入口
8	VDD	芯片电源	芯片电源，该引脚应通过一个 $0.1\mu\text{F}$ 电容并联去耦 工作电压范围：3.0-5.0V，建议使用 3.3V 或 5.0V 供电

HLW8110/HLW8112

5.2 HLW8110 典型应用

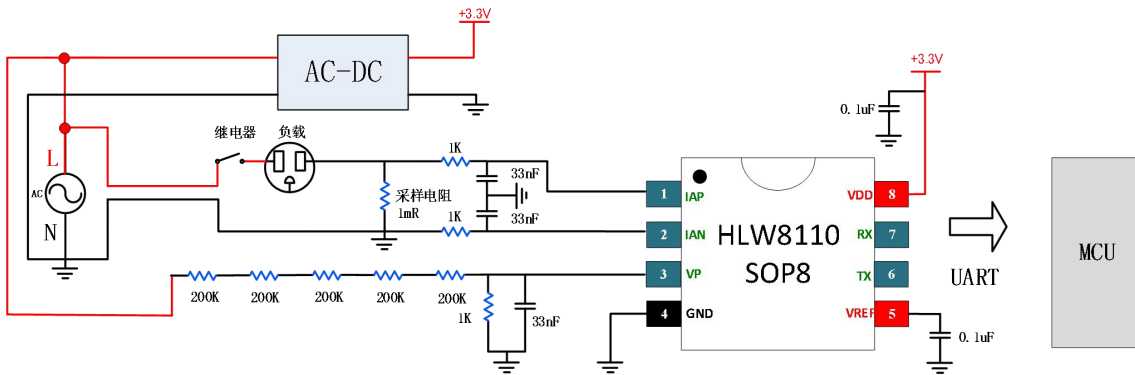


图 3 HLW8110 典型应用图

5.3 HLW8112 芯片管脚描述

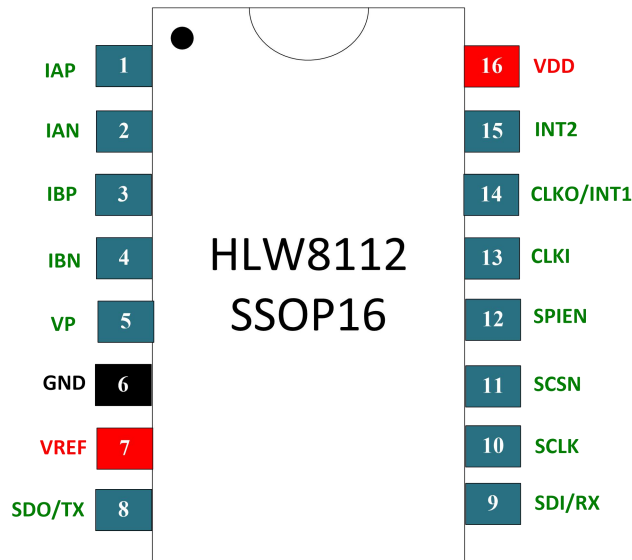


图 4 HLW8112 芯片管脚图

HLW8110/HLW8112

表 2 HLW8112 引脚功能描述

引脚序号	引脚名称	输入/输出	描述
1	IAP	模拟输入	电流通道 A 模拟输入, 该差分电压的最大输入范围是峰值 V_{pp} 为 $\pm 800\text{mV}/\text{PGA}$ (有效值 $V_{rms} = (\pm 800\text{mV}/\sqrt{2})/\text{PGA}$)
2	IAN	模拟输入	电流通道 A 模拟输入, 该差分电压的最大输入范围是峰值 V_{pp} 为 $\pm 800\text{mV}/\text{PGA}$ (有效值 $V_{rms} = (\pm 800\text{mV}/\sqrt{2})/\text{PGA}$)
3	IBP	模拟输入	电流通道 B 模拟输入, 该差分电压的最大输入范围是峰值 V_{pp} 为 $\pm 800\text{mV}/\text{PGA}$ (有效值 $V_{rms} = (\pm 800\text{mV}/\sqrt{2})/\text{PGA}$)
4	IBN	模拟输入	电流通道 B 模拟输入, 该差分电压的最大输入范围是峰值 V_{pp} 为 $\pm 800\text{mV}/\text{PGA}$ (有效值 $V_{rms} = (\pm 800\text{mV}/\sqrt{2})/\text{PGA}$)
5	VP	模拟输入	电压信号正输入端, 电压的最大输入峰峰值范围是峰值 V_{pp} 为 $\pm 800\text{mV}/\text{PGA}$ (有效值 $V_{rms} = (\pm 800\text{mV}/\sqrt{2})/\text{PGA}$)
6	GND	芯片地	芯片地
7	VREF	数字输入	基准电压的输入/输出引脚, 需要外接 0.1 μF 去耦电容
8	SDO/TX	数字输出	SPI 数据输出口/UART 数据输出口
9	SDI/RX	数字输入	SPI 数据输入口/UART 数据输入口
10	SCLK	数字输入	SPI 通讯模式时: SPI 接口时钟输入口 UART 通讯模式时: 与 SCSN 一同使用, 配置波特率 芯片内部 SCLK 引脚接有 80K 上拉电阻;
11	SCSN	数字输入	SPIEN = 0, UART 通讯方式: 与 SCLK 接口一同使用, 配置波特率 SPIEN = 1, SPI 通讯方式: 1、SCSN = 0, SPI 通讯口正常通讯; 2、SCSN = 1, SPI 通讯口复位; 芯片内部 SCSN 引脚接有 80K 下拉电阻;
12	SPIEN	数字输入	SPIEN = 0, 选择 UART 通讯方式; SPIEN = 1, 选择 SPI 通讯方式; 芯片内部 SPIEN 引脚接有 80K 下拉电阻;
13	CLKI	模拟输入	CLKI 不能悬空 1、外部晶体输入口, 推荐 3.579545M 晶体 2、CLKI 接地, 使用内置振荡器
14	CLKO/INT1	模拟输出/ 数字输出	1、外部晶体输出口 2、INT1 中断输出口
15	INT2	数字输出	INT2 中断输出口

HLW8110/HLW8112

16	VDD	芯片电源	芯片电源，该引脚通过一个 0.1uF 电容并联去耦 工作电压范围:3.0-5.0V，建议使用 3.3V 或 5.0V 供电
----	-----	------	--

5.4 HLW8112 典型应用

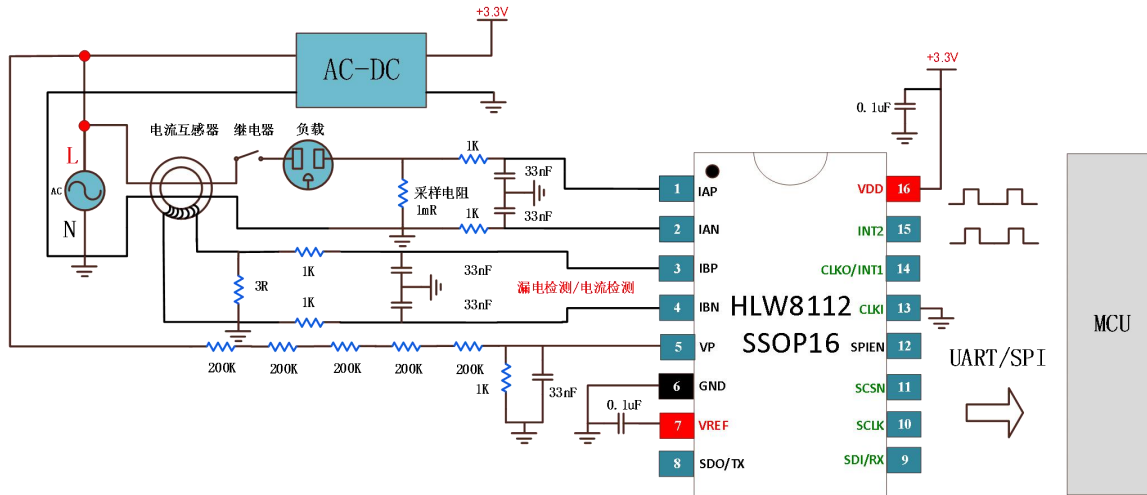


图 5 HLW8112 典型应用图

6 电气特性

6.1 推荐工作条件

表 3 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	1.24	1.25	1.26	V
功耗	B 通道关闭		3.7 (VDD =3.3V) 4.3 (VDD =5.0V)		mA
	B 通道打开		4.7 (VDD =3.3V) 5.3 (VDD =5.0V)		mA
温度范围	TA	-40		+85	°C

6.2 模拟特性

AVDD = DVDD = 5V ±5% or 3.3V ±5%; GND = 0V; VREF = 1.25V; MCLK = 3.579545MHz 。

HLW8110/HLW8112

表 4 模拟特性表

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 5000: 1 动态范围	EErr	-0.1	0	0.1	%
电压有效值测量误差 1000: 1 动态范围	IRmsErr	-0.1	0	0.1	%
电流有效值测量误差 1000: 1 动态范围	VRmsErr	-0.1	0	0.1	%
有功功率/视在功率误差, 1000: 1 动态范围	PRmsErr	-0.1	0	0.1	%
模拟输入					
差分输入范围	IIN	-800/PGA	-	+800/PGA	mV
满量程时对电压通道的串扰 (50Hz\60Hz)			-	-100	dB
输入电容	IC	0.3	4.8	7.68	pF
等效输入阻抗	EII	70K	12M/PGA		Ω
等效输入噪声 Gain = 1 Gain = 16	N1		0.33 12e-3	0.45 16e-3	Uv/sqrt (Hz)
电源供给					
上电检测阈值	PML0	2.8	2.9	2.95	V
掉电检测阈值	PMHI	2.5	2.7	2.9	V
参考电压					
输出电压	VREF	1.24	1.25	1.26	V
温漂 (注释 1)	TCVREF		5	15	ppm/°C

注释: 温度范围内 VREFOUT 的温漂计算公式:

$$TCVREF = \left(\frac{VREFOUT_{MAX} - VREFOUT_{MIN}}{VREFOUT_{AVG}} \right) \left(\frac{1}{T_{A_{MAX}} - T_{A_{MIN}}} \right) (1 \times 10^6)$$

6.3 数字特性

AVDD = DVDD = 5V ± 5% or 3.3V ± 5%; AGND = DGND = 0V; MCLK = 3.579545MHz;

表 5 数字特性表

参数	符号	最小值	典型值	最大值	单位
主时钟					

HLW8110/HLW8112

主时钟频率(注释 2)	MCLK	3.507	3.579	3.65	MHz
主时钟占空比(注释 3)		30	-	70	%
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					
高电平输入电压(DVDD = 5V)	V _{IH}	0.5*VDD	-	-	V
低电平输入电压(DVDD = 5V)	V _{IL}	-	-	0.8	V
高电平输出电压 I _{oH} = 4.2mA (VDD = 5V) I _{oH} = 1.9mA (VDD = 3.3V)	V _{OH}	0.9*VDD	-	-	V
低电平输出电压 I _{oL} = -4.2mA (VDD = 5V) I _{oL} = -1.9mA (VDD = 3.3V)	V _{OL}	-	-	0.5	V
		-	-	0.5	V
输入漏电流	I _{in}	-10	-	10	uA
数字输出引脚电容	C _{out}	-	5	-	pF
SPI					
SPI 时钟频率	SCLK	0.11	-	MCLK/4	KHz
数据字节的时间	t ₁	0.5	-	-	T _{sclk}
SCLK 的下降沿与 SCSN 的上升沿的时间	t ₂	0.5	-	-	T _{sclk}

- 注释： 1. 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MCLK，占空比必须满足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 极限值特性表

参数	符号	最小值	典型值	最大值	单位
电源	VDD	-0.3	-	+6.0	V
VDD to GND		-0.3	-	+6.0	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

HLW8110/HLW8112

结温	Junc Temp			125	°C
存储温度	Tstg	-65	-	150	°C

7 功能概述

7.1 复位系统

芯片支持三种全局复位模式，分别为上电 / 掉电复位、低电压复位及指令复位，具体说明如下：

1. 上电复位阈值电压为 2.9V，掉电复位阈值电压为 2.7V，迟滞电压为 0.2V(详见图 6)；
2. 芯片接收到复位指令后立即执行复位，复位过程在两个系统时钟周期内完成。

复位后状态：

1. 所有寄存器恢复至复位初始值；
2. 外部引脚电平恢复至初始状态。

复位标志位说明：

系统状态寄存器RST [SysStatus.bit0]位是复位标志位。当上电复位完成或指令复位完成后，该位自动置 1，且具备“读后清零”特性。

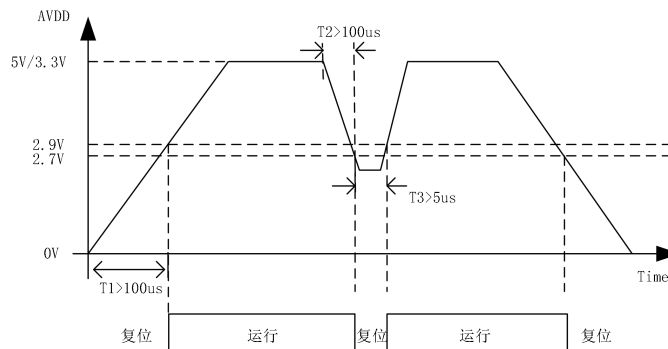


图 6 芯片上电和掉电复位图

7.2 时钟系统

HLW8112 支持两种振荡模式，可根据实际需求选择内置振荡器模式或外部晶振模式，具体配置如下：

1. 内置振荡器模式

启用内置振荡器时，需将 CLKI 引脚接地，内置振荡器典型工作频率为 3.579545MHz，实际

会有一些偏差。

2. 外部晶振模式

采用外部晶体时，推荐使用 3.579545MHz 规格，具体参数要求：

1. 外接电容建议值：22pF
2. 晶体等效串联电阻(ESR)建议：小于 50 Ω

注：芯片内部已集成跨接电阻。

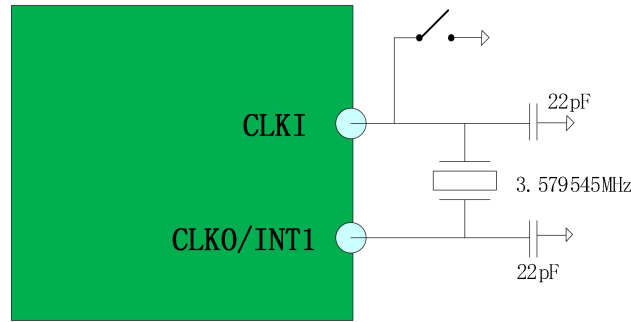


图 7 晶振切换示意图

当检测到 HLW8112 外置晶振有起振时关闭内部晶振使用外部晶振，当上电复位解除之后，检测到外置晶振有起振，HLW8112 会自动切换到外置晶振。HLW8110 默认使用内置晶振。

7.3 模数转换

HLW8110包括二路ADC，一路用于相电流采样，一路用于零线电路采样，二路ADC采用全差分方式输入，最大信号输入幅度为峰峰值是800mv/PGA。

HLW8112包括三路ADC，一路用于相电流采样，一路用于零线电路采样，一路用于电压采样，三路ADC采用全差分方式输入，最大信号输入幅度的峰峰值是800mv/PGA(有效值范围是(800mv/1.414)/PGA)，PGA可选1, 2, 4, 8, 或16倍。电流通道PGA的默认值是16倍，电压通道的PGA默认值是1倍。

表 7 各通道满幅输入信号

增益 PGA	VREF	满量程输入峰值信号 V _{pp}	PGAIA	PGAIB	PGAIU
1	1.25V	800mV (V _{rms} = 565.7mv)	000	000	000
2		400mV (V _{rms} = 282.8mv)	001	001	001
4		200mV (V _{rms} = 141.4mv)	010	010	010
8		100mV (V _{rms} = 70.7mv)	011	011	011
16(默认配置)		50mV (V _{rms} = 35.3mv)	1XX	1XX	1XX

注：各通道有效输入信号V_{rms} = 800mv/PGA*1/√2；

7.4 通道切换

HLW8110/HLW8112通过指令可以进行电流通道切换，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。通过计量状态寄存器EMUStatus的 Channel_sel[EMUStatus.bit21]位可以查询当前选择的电流通道，默认是选择电流通道A。

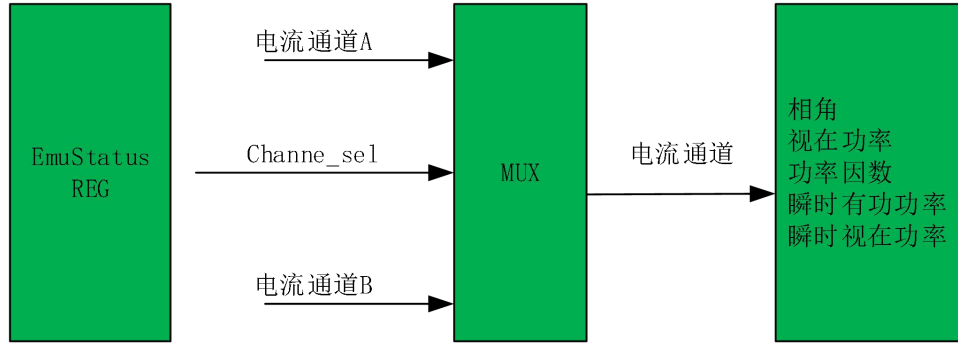


图 8 通道切换示意图

7.5 有功功率

HLW8110/HLW8112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计算和校正、电流通道B和电压通道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、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。

当ADC2ON [SYSCON.bit10] = 0时，电流通道B的ADC不工作，与电流通道B相关的功能也不工作。

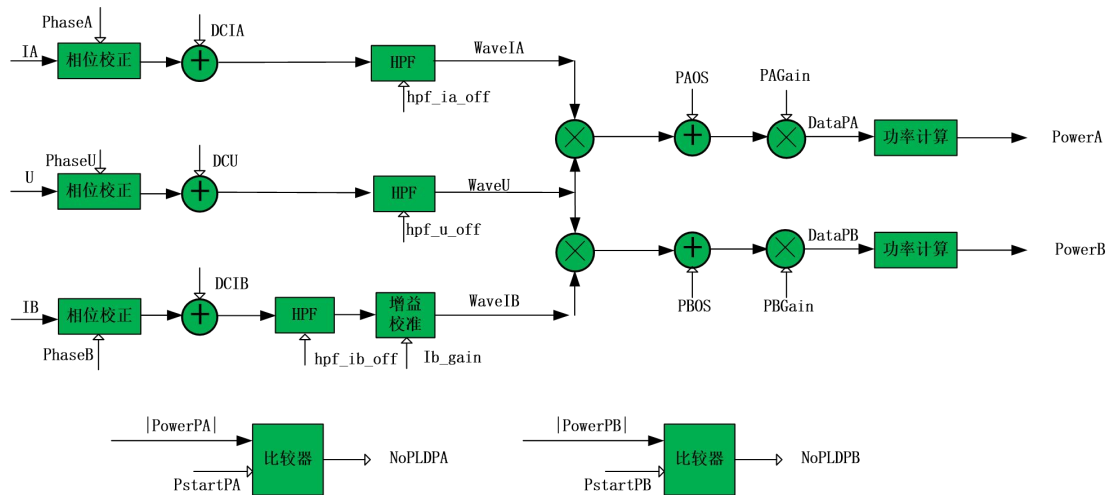


图 9 有功功率计算原理框图

7.6 有效值

HLW8110/HLW8112提供三个通道的真有效值参数输出，包括RmsU、RmsIA、RmsIB，更新频率可

HLW8110/HLW8112

选:3.4Hz、6.8Hz、13.65Hz、27.3Hz。

HLW8110/HLW8112具有2个有效值Offset寄存器：RmsIAOS和RmsIBOS。如下图所示，当DC_MODE[EMUCON.bit9] = 1时有效值的运算会跳过自乘、LPF、开方的过程，HPF之后的波形数据直接进行累加输出有效值。

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。

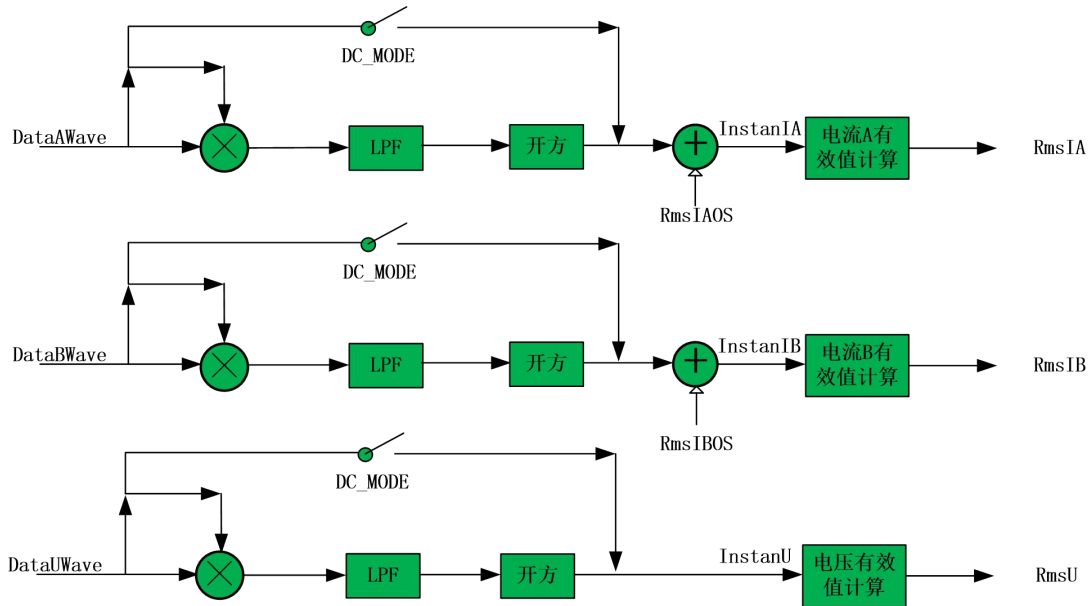


图 10 有效值计算原理框图

7.7 视在功率和功率因数 PF

HLW8110/HLW8112提供一路视在功率寄存器PowerS和功率因数寄存器PowerFactor，可以通过命令选择计算的通道：通道A或通道B。

计算功率因数时要先配置PfactorEN[EMUCON2.bit6] = 1。

PowerFactor是24位有符号小数，最高位为符号位，当PF = 0x7FFFFFFF时，表示功率因数为1.0；当PF = 0x8000000时，表示功率因数为-1.0；当PF = 0x4000000时，表示功率因数为0.5；潜动状态下为0x7FFFFFFF；

计算公式：PF = 符号位 * |PF| / 0x7FFFFFFF。

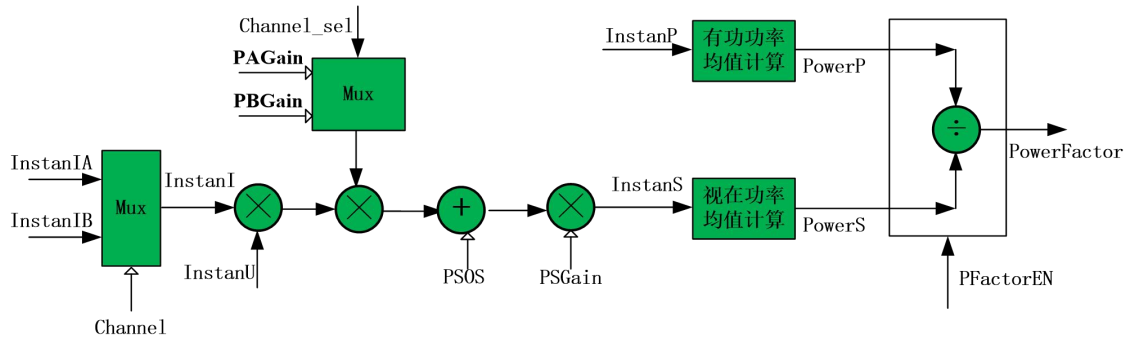


图 11 视在功计及功率因数计算原理框图

7.8 能量计算

脉冲输出、能量寄存器Energy_PA / Energy_PB 与PARun / PBrn、PstartPA / PstartPB 之间的关系：

打开或关闭有功能量寄存器Energy_PA / Energy_PB的累加功能：

1. PARun[EMUCON.bit0] / PBrn[EMUCON.bit1] = 0 关闭电能累加功能；
2. PARun[EMUCON.bit0] / PBrn[EMUCON.bit1] = 1 开启电能累加功能；

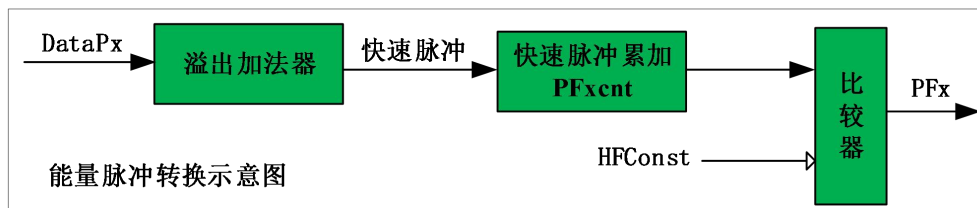
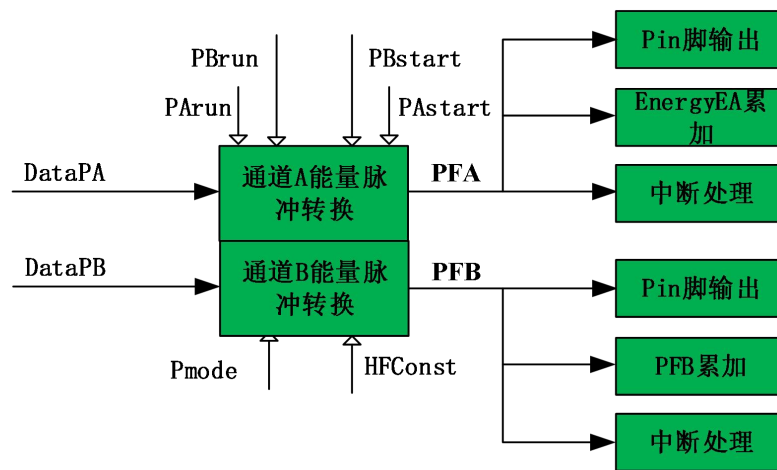


图 12 能量计算框图

当开启有功能量寄存器Energy_PA/Energy_PB的累加功能后，当 $|PowerPA| \gg 8$ 或 $|PowerPB| \gg 8$ 大于或等于PStartPA / PStartPB寄存器的设定值时，PFCnt_PA / PFCnt_PB 会进行电量的累计；

有功能量寄存器的计数如果要通过PFx (INT1或INT2)的脉冲输出，还会受到IE寄存器和 INT寄存器的控制。使能PFA的电脉冲通过INT1 PIN输出的方法如下：

1. 设置 PFAIE[IE.bit1] = 1，允许PFA中断使能
2. 设置 INT1[INT.bit3-bit0] = 0000B，使能电能计量校准脉冲 PFA 通过INT1 PIN输出电脉冲
当PFCnt_PA的值大于等于HFConst的值时，那么Energy_PA会加1，同时有INT1 PIN (PFA)有电脉冲输出。

同样，使能PFB的电脉冲输出，请参考IE REG和INT REG。

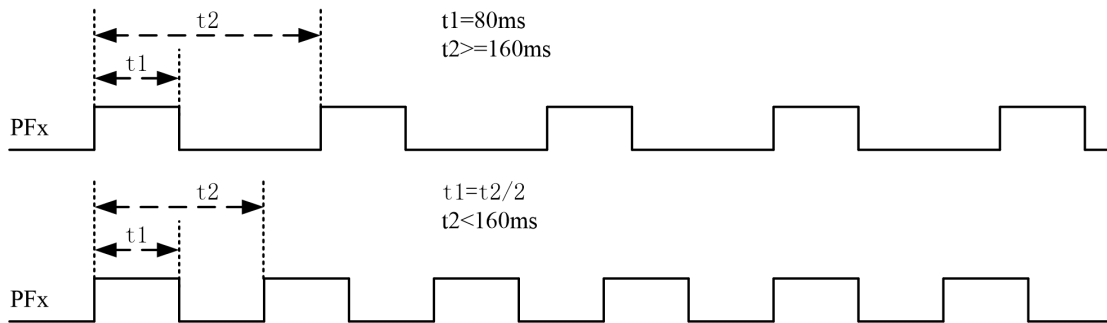


图 13 PFx 输出时序图

注意：当脉冲输出周期小于160ms 时，脉冲以50%占空比形式输出。

反向指示：

当有功功率为负值时，EMUStatus寄存器的REVPA[EMUStatus.bit17] 位或 REVPB[EMUStatus.bit18] 位被置为1。并且，REVPA位和REVPB位的状态会与 PFx (INT1或INT2)的脉冲同步更新。

7.9 过零检测、相角、电压频率测量

过零检测

HLW8110/HLW8112 的电压通道、电流通道 A、电流通道 B 均支持过零检测功能，相关配置如下：

1. 开启波形检测：配置EMUCON2寄存器的 WaveEn[EMUCON2.bit5] = 1；
2. 开启过零功能：配置 EMUCON2寄存器的 ZXEN[EMUCON2.bit2]=1，开启过零检测功能；
3. 过零输出方式选择：通过配置 ZXD1、ZXDO 寄存器位，可选择三种过零输出方式(详见表 8)。

表 8 过零选择方式输出表

ZXD1	ZXD0	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	表示选择正向和负向过零点均作为过零检测信号，过零输出信号为信号频率
1	1	

注：HLW8110/HLW8112中断输出的过零点和实际信号的过零点有一定的延时：约2ms。

相角测量

HLW8110/HLW8112 能够实现电压通道与电流通道 A 或电流通道 B 的相角测量，进行该测量需配置 ZXEN[EMUCON2.bit2]=1 和 WaveEn[EMUCON2.bit5]=1。

1. 相角寄存器：寄存器 Angle 用于表示电压通道与电流通道 A 或电流通道 B 之间的夹角，其寄存器地址为 0x22H，存储的是电流与电压之间的相角寄存器值。
2. 分辨率：在不同线频率下，分辨率有所不同。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°。

相角测量计算公式

1. 当线频率为 50Hz 时，相角 = Angle × 0.0805，单位为度。
 2. 当线频率为 60Hz 时，相角 = Angle × 0.0965，单位为度。
- 若通过计算得到相角数据为 25.12，则表明相角为 25.12 度。

电压通道线性频率测量

HLW8110/HLW8112 可实现电压通道线性频率的测量，需配置 ZXEN=1。该测量针对基波频率，测量带宽为 250Hz。

1. 频率寄存器：Ufreq 用于确定电压频率(L线)，是一个 16 位的无符号数，其寄存器地址为 0x23H。
2. 线性频率： $f = \text{clk_sys} / 8 / \text{Ufreq}$ ，也可表示为线性频率 = 3579545 / (8 * |Ufreq|)。

举例说明：

若系统时钟 clk_sys=3.579545MHz，Ufreq=8948，那么测量到的实际频率为 $f=3579545/8/8948=49.9908\text{Hz}$ ；若计算出来的频率为 49.99，则表示线性频率为 49.99Hz。

更新周期：电压频率测量值更新的周期约为 0.64s。

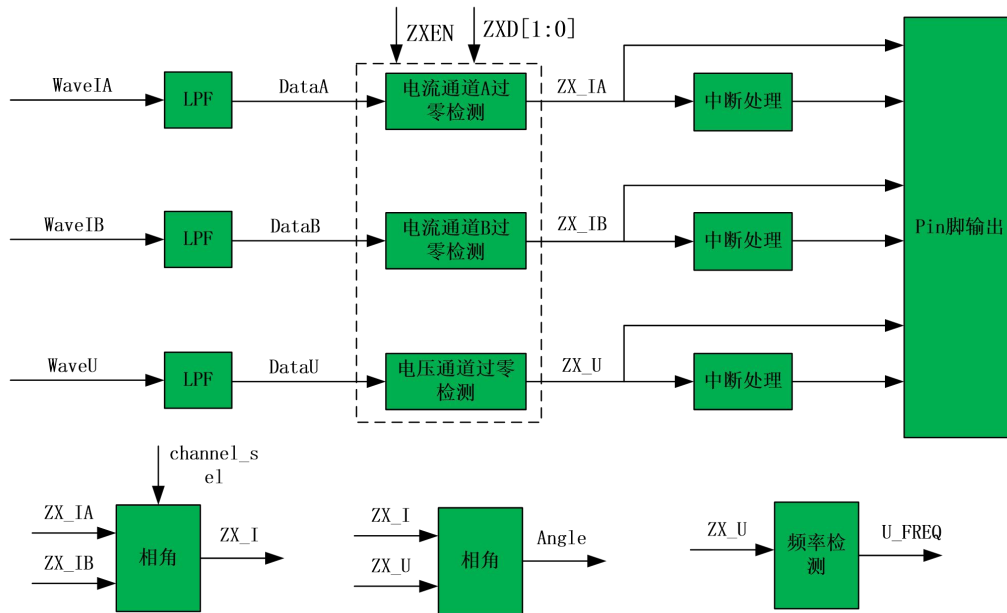


图 14 过零检测框图

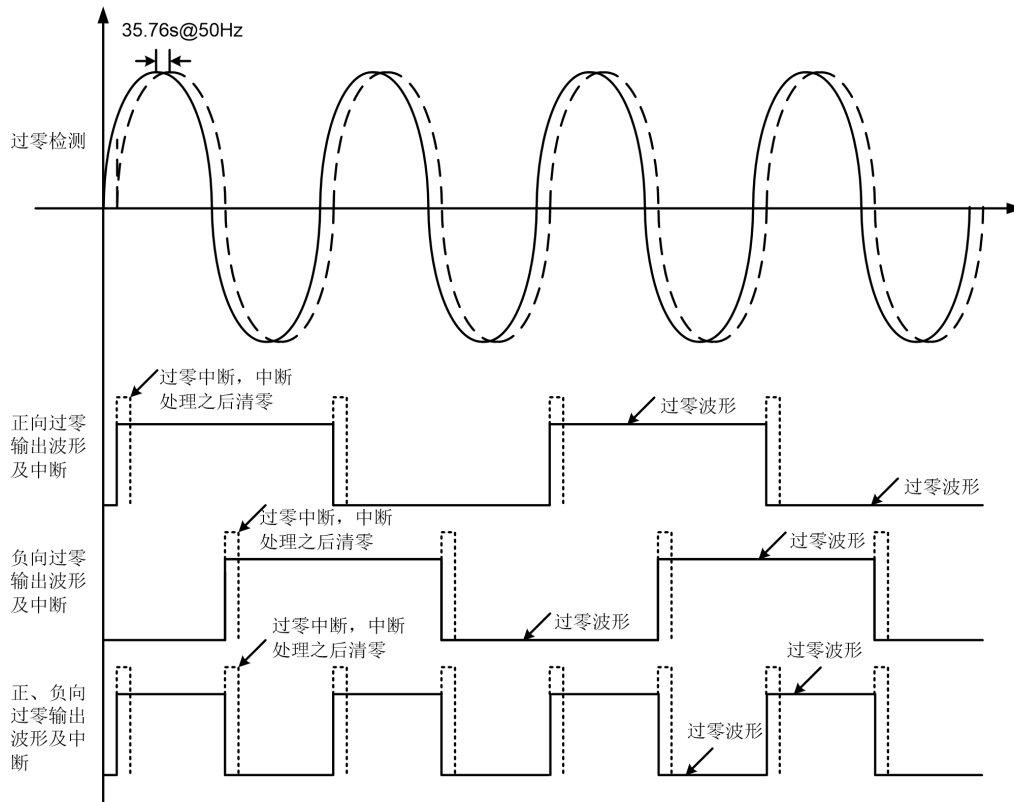


图 15 过零波形及中断示意图

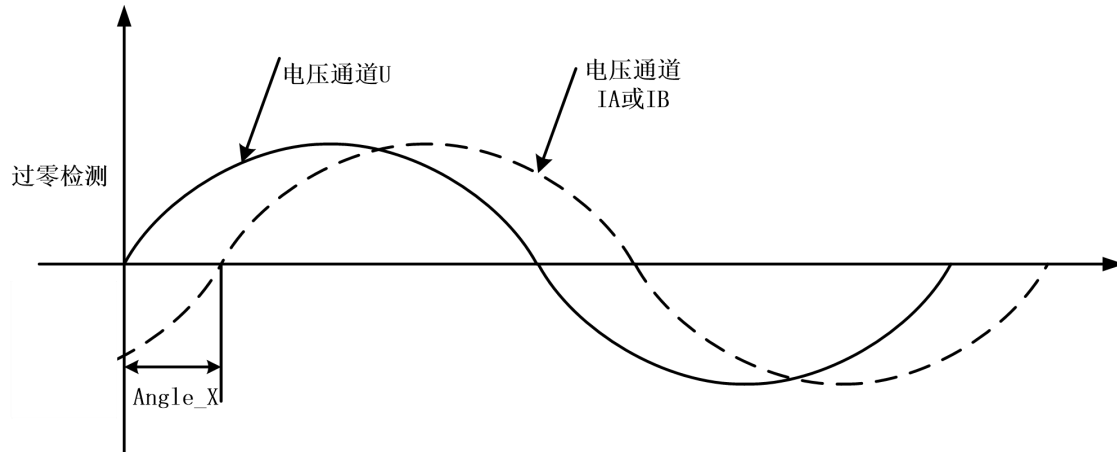


图 16 相角示意图

7.10 峰值检测

HLW8110/HLW8112 的电流通道 A、电流通道 B 和电压通道具有峰值检测特性，相关配置及功能如下：

1. 需先打开瞬时数据功能，且必须将 EMUCON2 寄存器的 bit5 位 (WaveEn[EMUCON2.bit5]) 设置为 1。
2. 通过配置 EMUCON2 寄存器的 bit1 位 (PeakEN[EMUCON2.bit1]) 为 1，可开启峰值检测功能。
3. 该特性会连续记录电压和电流波形的最大值。
4. 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部分)。

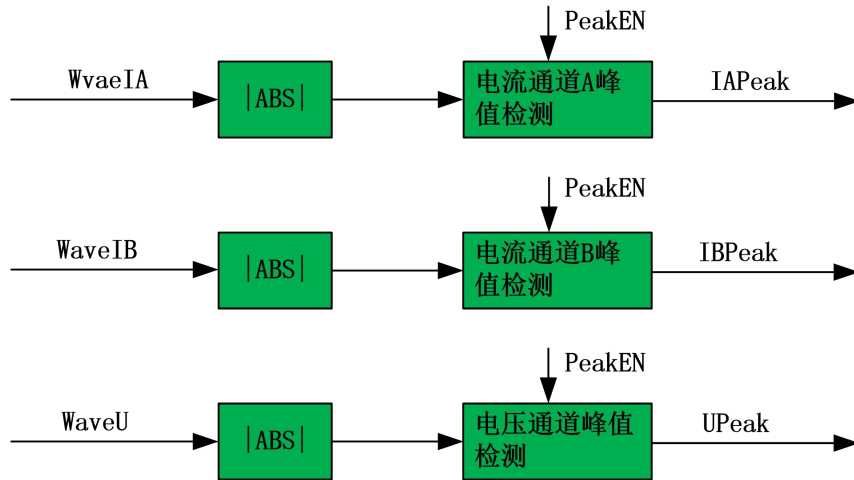


图 17 峰值检测框图

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Peak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，需要等待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。

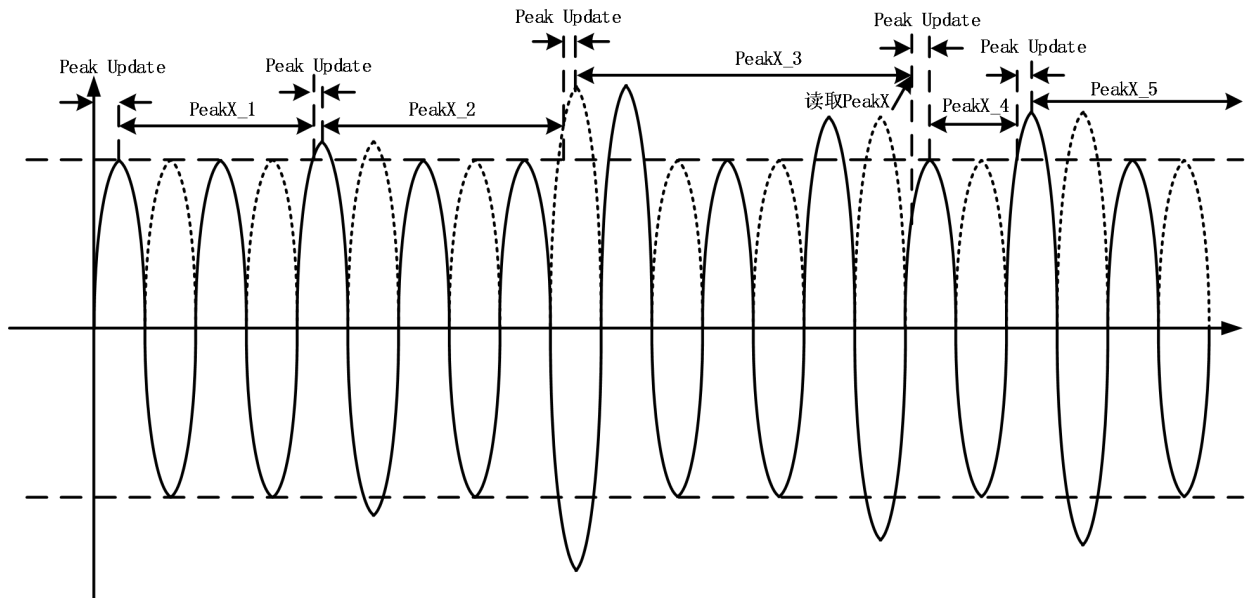


图 18 峰值检测示意图

7.11 过流、过压、过载检测

HLW8110/HLW8112 具备过流、过压以及有功功率过载检测功能，该检测特性基于瞬时电流、电压信号和有功功率值实现，默认处于禁用状态。

若要开启过流、过压、有功功率过载检测功能，需配置 WaveEN [EMUCON2.bit5]=1，之后再通过配置 OverEn [EMUCON2.bit3]=1 来启动该功能。

与该检测特性相关的寄存器共有 4 个，均为无符号寄存器，默认值均为 0xFFFF，且与 WaveIA、WaveIB、WaveU、InstanP 的高 17 位对齐，具体功能如下：

- OVLVL：用于设置电压阈值；
- OIALVL：用于设置电流通道 A 阈值；
- OIBLVL：用于设置电流通道 B 阈值；
- OPLVL：用于设置有功功率阈值。

当 HLW8110/HLW8112 检测到过流、过压或功率过大的情况时，IF/RIF 寄存器的相关位置 1，若对应的中断使能信号已打开，此时会通过 IRQ (INT1/INT2)输出低电平信号。在读取 IF 寄存器后，相应的 IF 寄存器和 RIF 寄存器的位被清零，IRQ (INT1/INT2)恢复高电平信号。

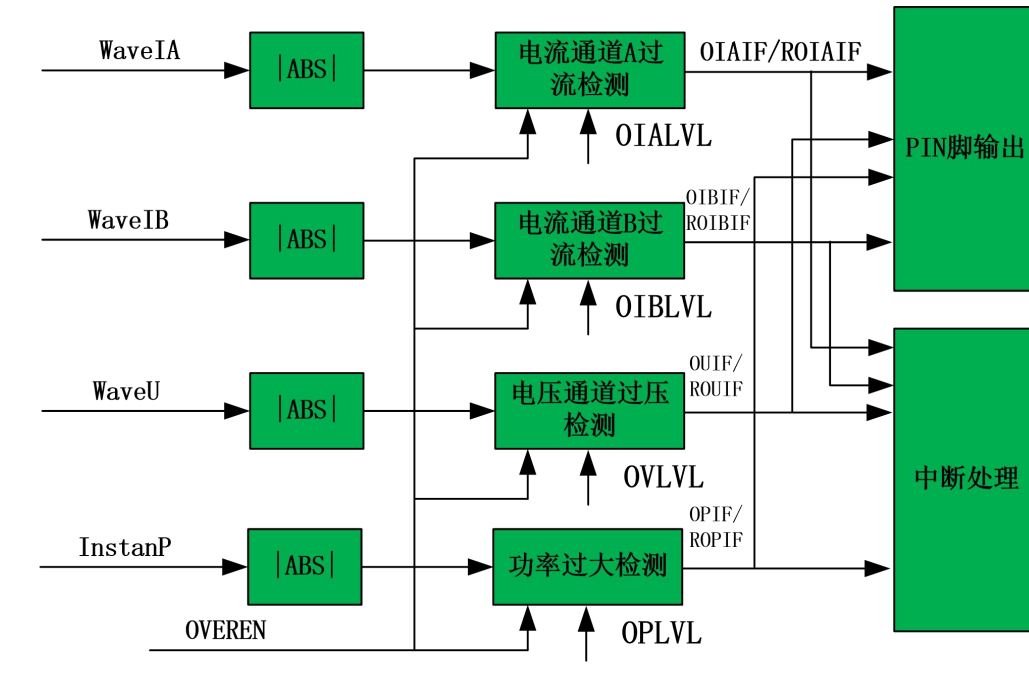


图 19 过压过流过载及功率检测框图

过流阈值的计算

电流通道 A 的过流阈值计算存在两种方式，分别是施加实际电流计算与通过理论公式计算，以下为具体说明及举例：

一、施加实际电流计算过流阈值

若在电流通道 A 施加 5A 电流时，RmsIA 寄存器的平均值为 0x0C49BA，且需将电流通道 A 的过流电流设置为 10.2A，那么 OIALVL 的计算公式如下：

$$OIALVL = \frac{\frac{RmsIA}{5} \times 10.2 \times \sqrt{2}}{2^7}$$

计算结果 OIALVL = 0x46E4;

公式中各部分含义为:

$\frac{RmsIA}{5} \times 10.2$: 代表 10.2A 时 RmsIA 的寄存器值;

$\frac{RmsIA}{5} \times 10.2 \times \sqrt{2}$: 代表 10.2A 时对应的峰值;

2^7 : 作用是将计算结果右移 7 位。

二、理论公式计算过流阈值

电流通道 A 过流阈值还可通过以下理论公式直接计算得出:

$$OIALVL = \frac{IA \times \sqrt{2} \times R \times 1.5 \times PGAIA}{Vref} \times 2^{16}$$

公式中各参数含义为:

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, 默认值为 16;

Vref: 芯片基准电压输出, 单位为 V, 典型值为 1.25V;

2^{16} : 因 OIALVL 的寄存器位宽为 16 位。

从上述两种计算公式能够看出, 施加实际电流计算过流阈值的方式, 可消除采样电阻 R、PGA 放大倍数、芯片基准 Vref 误差带来的影响。

此外, 电流通道 B 的过流阈值, 其计算方式与电流通道 A 类似。

有功功率过载阈值的计算

有功功率过载阈值的计算存在两种方式, 分别是通过施加实际电流和电压进行计算, 以及利用理论公式计算。以下将对这两种方式进行详细说明, 并辅以实例。

一、施加实际电流和电压计算有功功率过载阈值

这种方式是通过在实际场景中施加电流和电压, 获取相关数据后计算有功功率过载阈值, 能有效减少多种误差影响。

计算举例: 若在电流通道 A 施加电流和电压, 功率因数为 1, 当有功功率为 1000W 时, PowerPA 寄存器的平均值为 0x2F23872, 现需将有功功率过载设置为 10500W, 此时 OPLVL 的计算公式如下:

$$OPLVL = \frac{\frac{PowerA}{1000} \times 10500}{2^{15}}$$

计算结果 OPLVL = 0x3DDE ;

其中，“ $\frac{\text{PowerA}}{1000} \times 10500$ ”表示的是当有功功率为 10500W 时 PowerPA 寄存器的值；

“ 2^{15} ”的作用是将计算出的结果右移 15 位。

二、通过理论公式计算有功功率过载阈值

这种方式是依据固定的理论公式，代入各项参数值来得到有功功率过载阈值。

计算公式为：

$$\text{OPLVL} = \frac{\text{IA} \times \text{Ria} \times \text{U} \times \text{Ru} \times 2.25 \times \text{PGAIA} \times \text{PGAU}}{\text{Vref}^2} \times 2^{16}$$

公式中各项参数的含义如下：

IA：需要设置的有功过流过载对应的电流有效值，单位为 A。

U：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 $1\text{k}\Omega / (1\text{M}\Omega + 1\text{k}\Omega)$ 。

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} ：表示 OPLVL 的寄存器位宽为 16 位。

从上述两种计算公式的对比可以看出，采用施加实际的电流、电压来计算有功功率过载阈值，能够消除采样电阻 Ria、Ru，PGAIA 和 PGAU 放大倍数，以及芯片基准 Vref 所带来的误差影响。

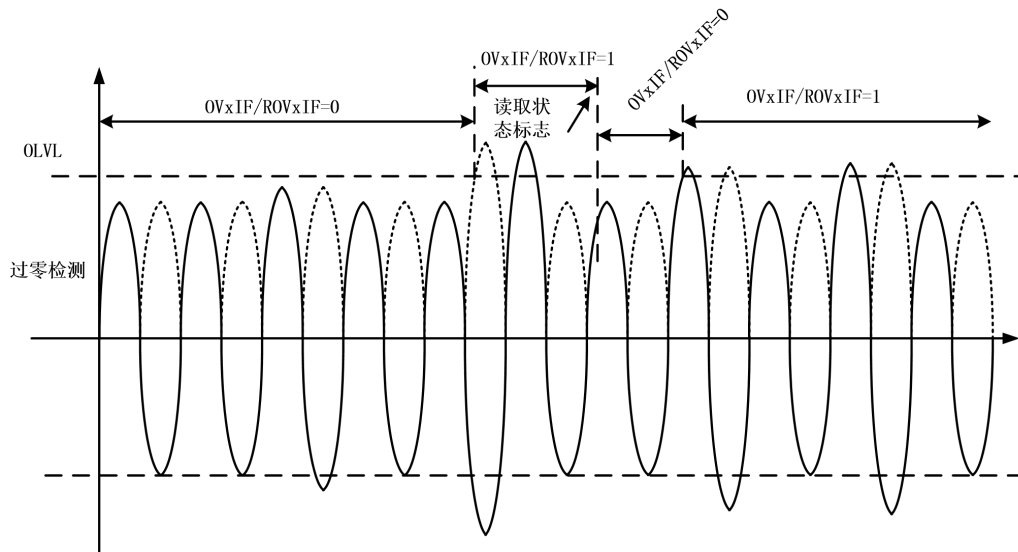


图 20 过压过流过载及功率检测示意图

7.12 电压骤降检测

HLW8110/HLW8112 具备电压骤降检测特性，该功能可通过配置 SAGEN[EMUCON2.bit4] 开启，但必须先将 WaveEN[EMUCON2.bit5] 配置为 1。当线电压绝对值降至可编程的阈值以下，且这种状态持续可编程数量的骤降周期时，器件会提醒用户。此特性能够提供线电压丢失的早期预警信号。

电压骤降特性由两个无符号数寄存器控制，分别是 SAGCYC REG 和 SAGLVL REG，它们各自控制着骤降周期和骤降电压阈值。当发生电压骤降情况时，骤降位 SAGIF[IF.bit11] 会置 1，且该位在读取之后会被清零。

一、SAGCYC 寄存器设置

SAGCYC 是 16 位无符号寄存器，其中包含可编程的骤降周期，不过只有低 8 位有效。这里的骤降周期指的是半波周期数，只有当电压通道处于阈值以下的半波周期数超过或等于该数量时，才会被视为发生骤降情况。SAGCYC 寄存器的 1 LSB 对应 1 个半波周期，其最大值为 255。

在不同频率下，最长骤降周期时间不同：

在 50Hz 时，最长骤降周期时间为 2.55 秒。

在 60Hz 时，最长骤降周期时间为 2.125 秒。

当使能该特性后，如果更改 SAGCYC 的值，新的 SAGCYC 周期会立即生效，这意味着骤降事件可能由多个骤降周期的组合引发。另外，在将新的周期值写入 SAGCYC 寄存器之前，为防止出现重叠情况，应将 SAGLVL 寄存器复位为 0，以此有效禁用该特性。

二、SAGLVL 寄存器设置

SAGLVL 是 16 位寄存器，其中包含电压幅度值，只有当电压通道降至该幅度以下时，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，所以可以根据电压通道的峰值读数来设置幅度。

设置 SAGLVL 寄存器的具体方法是：施加标称电压，等待数个线周期后，读取 PeakU 寄存器以确定电压输入，然后将该读数缩放到骤降检测所需的幅度。例如，若要求骤降阈值为标称电压的 80%，则应先获取峰值读数，再将等于该读数 80% 的值写入 SAGLVL 寄存器。这种方法能确保特定设计获得精确的 SAGLVL 值。

三、电压骤降中断

HLW8110/HLW8112 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，那么当发生电压骤降事件时，外部 IRQ 引脚会变为低电平，该中断默认处于禁用状态。

四、电压通道欠压阈值计算

电压通道欠压阈值的计算有两种方式，分别是施加实际电压计算和通过理论公式计算，以下为具体说明及举例。

(一) 施加实际电压计算欠压阈值

若在电压通道施加 220V 电压时，RmsU 寄存器连续读取多次的平均值为 21C21CH，现要将电压欠压设置为 220V 的 60%，即 132V，此时 SAGLVL 的计算公式如下：

$$SAGLVL = \frac{\text{RmsU}}{220} \times 132 \times \sqrt{2} \times 2^7$$

计算结果 SAGLVL = 0x3947；

其中：

“ $\frac{RmsU}{220} \times 132$ ” 表示的是 132V 时 RmsU 的寄存器值；

“ $\frac{RmsU}{220} \times 132 \times \sqrt{2}$ ” 表示的是 132V 时对应的峰值；

“ 2^7 ” 的作用是将计算出的结果右移 7 位。

(二)通过理论公式计算欠压阈值

电压通道欠压阈值还可以通过理论公式计算得出，公式如下：

$$SAGLVL = \frac{\frac{RmsU}{220} \times \sqrt{2} \times Ru \times 1.5 * PGAU}{Vref} \times 2^{16}$$

公式中各项参数的含义：

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 $1k\Omega / (1M\Omega + 1k\Omega)$ ；

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，施加实际电压计算欠压阈值，能够消除采样电阻 Ru、PGAU 放大倍数以及芯片基准 Vref 带来的误差影响。

电压通道的过压阈值，与计算欠压阈值的方法类似。

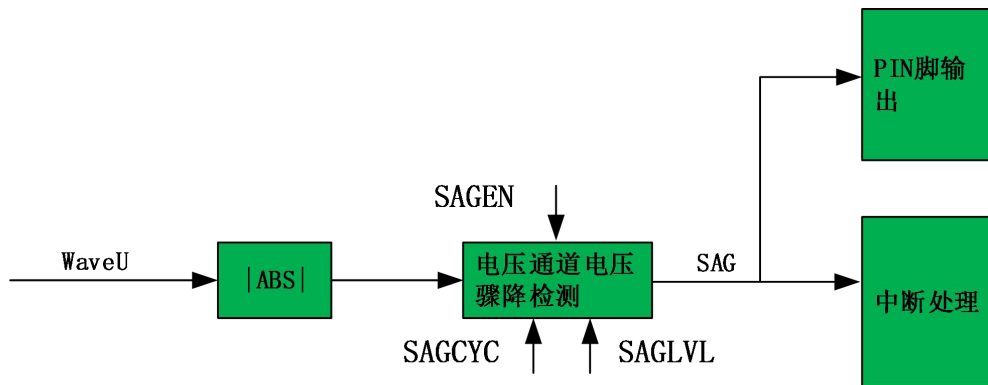


图 21 电压骤降检测框图

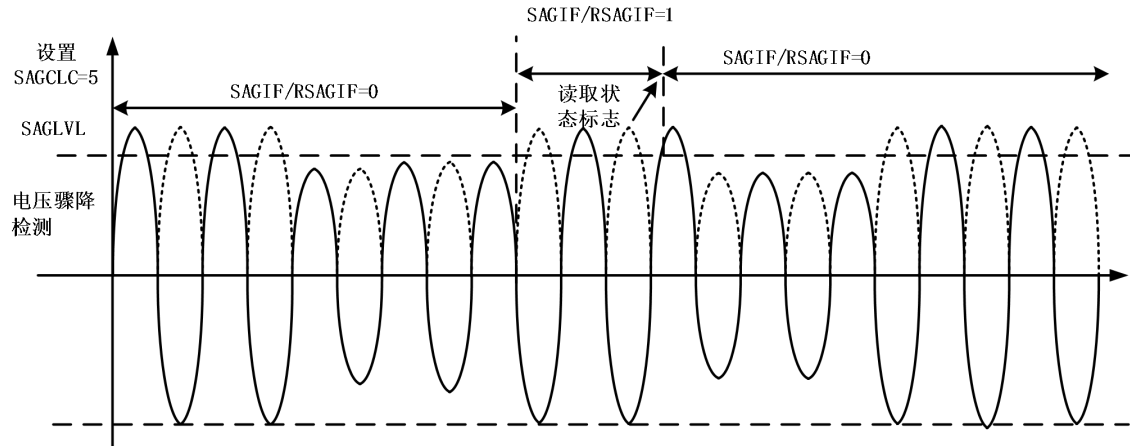


图 22 电压骤降检测示意图

7.13 均值信号

HLW8110/HLW8112提供均值信号，这些信号包括：通道A电流有效值、通道B电流有效值、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，除了功率相关的寄存器是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、13.65Hz、27.3Hz。

HLW8110/HLW8112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。

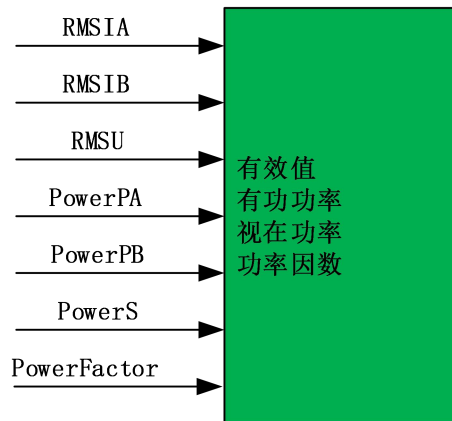


图 23 均值数据框图

7.14 瞬时信号和采样波形

HLW8112除了提供瞬时电压有效值、电流有效值、有功功率和视在功率以外(通过配置WaveEN 可以开启瞬时数据输出功能)，还能提供电压和电流通道的波形数据(通过配置WaveEN可以开启瞬时数

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波形以进行谐波分析。

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位无符号寄存器提供。所有测量结果均以6.991 kHz (CLKIN/512) 的速率更新，瞬时值是LPF滤波之后的测量数据，相当于有效值的瞬时值，波形值是HPF滤波之后的测量数据，相当于波形。

HLW8112提供一个瞬时中断状态位，它以6.991 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。

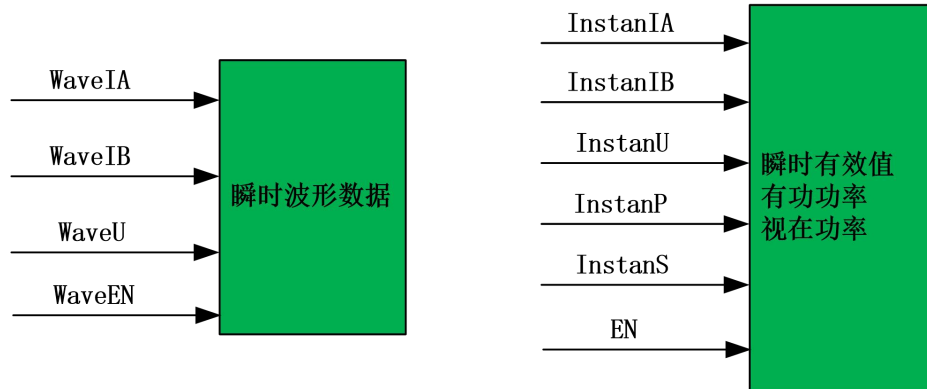


图 24 瞬时信号和波形数据框图

7.15 温度传感器

HLW8110/HLW8112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。

HLW8110/HLW8112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)，comp_off=1(关闭B通道比较器功能)、CHS_IB=0(测量芯片内部温度，不能再用于 B 通道测量电流)；
- 3、配置Tsensor_Step[1:0]=00，等待数据更新后(3.4Hz/6.8Hz/13.65Hz/27.3Hz)，读取RmsIB寄存器值(建议连续读取4次数据并取平均值)，寄存器值记录为D1；
- 4、配置Tsensor_Step[1:0]=01，等待数据更新后(3.4Hz/6.8Hz/13.65Hz/27.3Hz)，读取RmsIB寄存器值(建议连续读取4次数据并取平均值)，寄存器值记录为D2；
- 5、配置Tsensor_Step[1:0]=10，等待数据更新后(3.4Hz/6.8Hz/13.65Hz/27.3Hz)，读取RmsIB寄存器值(建议连续读取4次数据并取平均值)，寄存器值记录为D3；
- 6、配置Tsensor_Step[1:0]=11，等待数据更新后(3.4Hz/6.8Hz/13.65Hz/27.3Hz)，读取RmsIB寄存器值(建议连续读取4次数据并取平均值)，寄存器值记录为D4；
- 7、把D1、D2、D3、D4相加求平均得到D： $D = (D1 + D2 + D3 + D4) / 4$ ；

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Tc(单位℃，比如25℃)，根据步骤3-7得到的平均值为Dc，将Dc值保存于存储单元中。

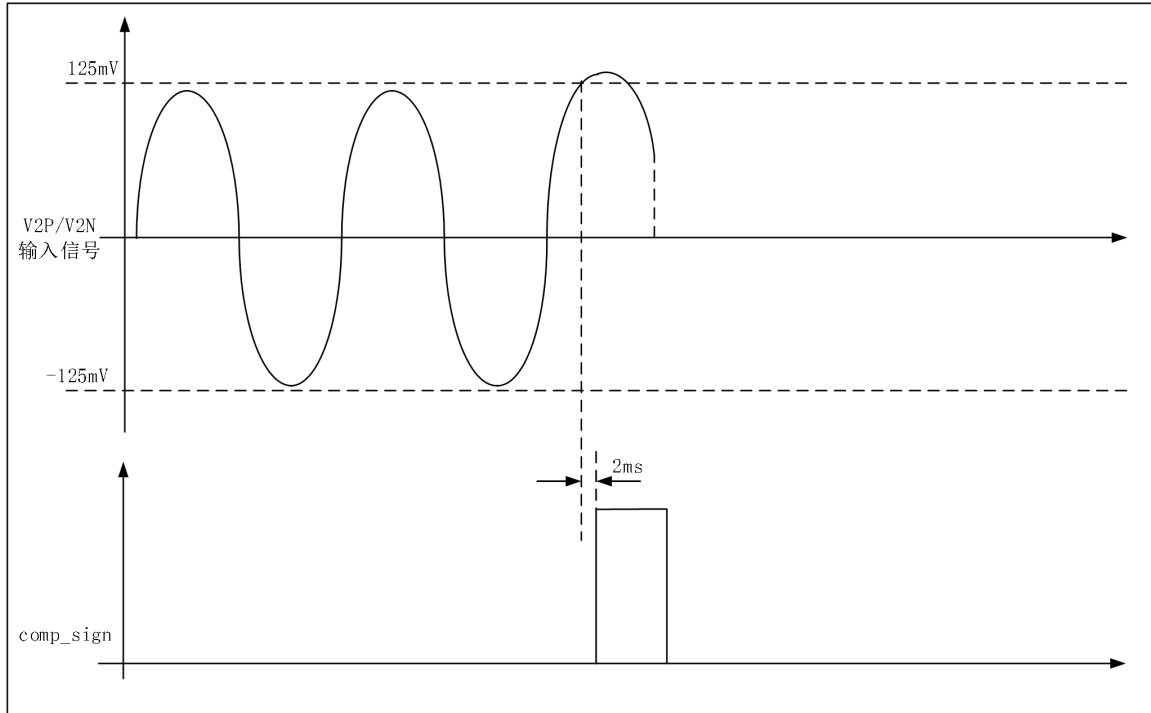
HLW8110/HLW8112

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℃)。

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

7.16 比较器

HLW8112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125mV，比较器就会输出高电平，比较器输出的信号可通过INT1/INT2 直接输出。



HLW8112比较器使用步骤如下：

- 1、配置INT1或INT2=0010B，通过INT1或INT2输出比较信号。
- 2、配置comp_off[EMUCON.bit12]=0(比较器处于工作状态)、ADC2ON[SYSCON.bit10]=1、tensor_en[EMUCON.bit13]=0,关闭B通道其它配置功能，具体设置参考寄存器 SYSCON REG、EMUCON REG和EMUCON2 REG；

当检测到INT1/INT2输出的比较信号为高电平之后，需要断开外部电源，HLW8112 重新上电才能正常工作。

8 寄存器描述

8.1 HLW8110/HLW8112 寄存器列表

地址	寄存器	字长	默认值	功能描述	写保护	R/W
----	-----	----	-----	------	-----	-----

校表参数和计量控制寄存器						
00H	SYSCON	2	0x0A04	系统控制寄存器	Yes	R/W
01H	EMUCON	2	0x0000	计量控制寄存器	Yes	R/W
02H	HFConst	2	0x1000	脉冲频率寄存器	Yes	R/W
03H	Pastart	2	0x0060	通道 A 有功起动功率设置	Yes	R/W
04H	Pbstart	2	0x0060	通道 B 有功起动功率设置	Yes	R/W
05H	PAGain	2	0x0000	通道 A 功率增益校准寄存器	Yes	R/W
06H	PBGain	2	0x0000	通道 B 功率增益校准寄存器	Yes	R/W
07H	PhaseA	1	0x00	通道 A 相位校准寄存器	Yes	R/W
08H	PhaseB	1	0x00	通道 B 相位校准寄存器	Yes	R/W
0AH	PAOS	2	0x0000	通道 A 有功功率 Offset	Yes	R/W
0BH	PBOS	2	0x0000	通道 B 有功功率 Offset	Yes	R/W
0EH	RmsIAOS	2	0x0000	通道 A 电流有效值 Offset 补偿	Yes	R/W
0FH	RmsIBOS	2	0x0000	通道 B 电流有效值 Offset 补偿	Yes	R/W
10H	IBGain	2	0x0000	电流通道 B 增益设置	Yes	R/W
11H	PSGain	2	0x0000	视在功率增益校准	Yes	R/W
12H	PSOS	2	0x0000	视在功率 Offset 补偿	Yes	R/W
13H	EMUCON2	2	0x0001	计量控制寄存器 2	Yes	R/W
14H	DCIA	2	0x0000	IA 通道直流 offset 校正寄存器	Yes	R/W
15H	DCIB	2	0x0000	IB 通道直流 offset 校正寄存器	Yes	R/W
16H	DCU	2	0x0000	U 通道直流 offset 校正寄存器	Yes	R/W
17H	SAGCYC	2	0x0000	电压骤降周期设置	Yes	R/W
18H	SAGLVL	2	0x0000	电压骤降阈值设置	Yes	R/W
19H	OVLVL	2	0xFFFF	电压过压阈值设置	Yes	R/W
1AH	OIALVL	2	0xFFFF	电流通道 A 过流阈值设置	Yes	R/W
1BH	OIBLVL	2	0xFFFF	电流通道 B 过流阈值设置	Yes	R/W
1CH	OPLVL	2	0xFFFF	有功功率过载阈值设置	Yes	R/W
1DH	INT	2	0x3210	INT 中断输出寄存器	Yes	R/W
计量参数和状态寄存器						
20H	PFCntPA	2	0x0000	通道 A 快速组合有功脉冲计数	Yes	R/W
21H	PFCntPB	2	0x0000	通道 B 快速组合有功脉冲计数	Yes	R/W
22H	Angle	2	0x0000	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	0x0000	电压频率, 更新速率 3.4/6.8/13.65/27.3Hz	-	R
24H	RmsIA	3	0x000000	通道 A 电流的有效值, 更新速率 3.4/6.8/13.65/27.3Hz	-	R
25H	RmsIB	3	0x000000	通道 B 电流的有效值,	-	R

HLW8110/HLW8112

				更新速率 3.4/6.8/13.65/27.3Hz		
26H	RmsU	3	0x000000	电压有效值, 更新速率 3.4/6.8/13.65/27.3Hz	-	R
27H	PowerFactor	3	0x7FFFFFFF	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	0x000000	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	0x000000	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	0x00000000	通道 A 有功功率, 更新速率 3.4/6.8/13.65/27.3Hz	-	R
2DH	PowerPB	4	0x00000000	通道 B 有功功率, 更新速率 3.4/6.8/13.65/27.3Hz	-	R
2EH	PowerS	4	0x00000000	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 3.4/6.8/13.65/27.3Hz	-	R
2FH	EMUStatus	3	0x00B32F	计量状态寄存器	-	R
30H	PeakIA	3	0x000000	电流通道 A 的峰值, 50Hz 线性频率下, 更新速率 10ms	-	R
31H	PeakIB	3	0x000000	电流通道 B 的峰值, 50Hz 线性频率下, 更新速率 10ms	-	R
32H	PeakU	3	0x000000	电压通道 U 的峰值, 50Hz 线性频率下, 更新速率 10ms	-	R
33H	InstanIA	3	0x000000	电流通道 A 瞬时值	-	R
34H	InstanIB	3	0x000000	电流通道 B 瞬时值	-	R
35H	InstanU	3	0x000000	电压通道 U 瞬时值	-	R
36H	WaveIA	3	0x000000	电流通道 A 波形		R
37H	WaveIB	3	0x000000	电流通道 B 波形		R
38H	WaveU	3	0x000000	电压通道 U 波形		R
3CH	InstanP	4	0x00000000	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	0x00000000	视在功率瞬时值, 通过命令选择通道 A 或通道 B 的视在功率瞬时值	-	R
中断寄存器						
40H	IE	2	0x0000	中断允许寄存器	Yes	R/W
41H	IF	2	0x0000	中断标志寄存器	-	R
42H	RIF	2	0x0000	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

HLW8110/HLW8112

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
标准系数寄存器						
6FH	CHECKSUM	2	--	校表系数校验和	-	
70H	RmsIAC	2	--	电流通道 A 有效值转换系数	-	R
71H	RmsIBC	2	--	电流通道 B 有效值转换系数	-	R
72H	RmsUC	2	--	电压通道 U 有效值转换系数	-	R
73H	PowerPAC	2	--	电流通道 A 有功功率转换系数	-	R
74H	PowerPBC	2	--	电流通道 B 有功功率转换系数	-	R
75H	PowerSC	2	--	视在功率转换系数	-	R
76H	EnergyAC	2	--	A 通道有功电能转换系数	-	R
77H	EnergyBC	2	--	B 通道有功电能转换系数	-	R
7CH	Trim_RC	2	0x0210	高 3 位保留; 低 13 位为内置时钟 Trim 寄存器	-	R
7DH	Trim_Vref	2	0x0000	内置 VrefTrim 寄存器	-	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”。						

8.2 校表参数寄存器

8.2.1 系统控制寄存器 SYSCON

SYSTEM Control Register (SYSCON)		Address:0x00	Default Value: 0x0A04
位	名称	功能描述	
15-12	NC	NC	
11	ADC3ON	=1, 开启电压通道 U 的电压测量功能 =0, 关闭电压通道 U 的电压测量功能	
10	ADC2ON	=1, 开启电流通道 B 的电流测量功能 =0, 关闭电流通道 B 的电流测量功能	
9	ADC1ON	=1, 开启电流通道 A 的电流测量功能 =0, 关闭电流通道 A 的电流测量功能	
8-6	PGAIB[2:0]	电流通道 B 模拟增益选择, 默认 16 倍 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, 默认 1 倍 PGAU[2:0]=1XX, 电压通道 U 的 PGA=16 PGAU[2:0]=011, 电压通道 U 的 PGA=8 PGAU[2:0]=010, 电压通道 U 的 PGA=4	

		PGAU[2:0]=001, 电压通道 U 的 PGA=2 PGAU[2:0]=000, 电压通道 U 的 PGA=1
2-0	PGAIA[2:0]	电流通道 A 模拟增益选择, 默认 16 倍 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

8.2.2 计量控制寄存器 EMUCON

Energy Measure Control Register (EMUCON)		Address: 0x01	Default Value: 0x0000
位	名称	功能描述	
15-1 4	Tsensor_Step[1:0]	温度 Sensor 的测量步骤: =00, 温度 Sensor 的测量第一步, OP1, OP2 的 Offset 为+/-; =01, 温度 Sensor 的测量第二步, OP1, OP2 的 Offset 为+/-; =10, 温度 Sensor 的测量第三步, OP1, OP2 的 Offset 为-/-; =11, 温度 Sensor 的测量第四步, OP1, OP2 的 Offset 为-/-; 测量完这四个结果, 再平均即可得出当前被测温度的 AD 值。	
13	Tensor_en	开启或关闭测温功能 (B 通道的电流测量\温度测量\比较器功能只能选择其中一个功能): =0, 关闭测温功能 =1, 开启测温功能	
12	Comp_off	开启或关闭比较器功能 (B 通道的电流测量\温度测量\比较器功能只能选择其中一个功能): =0, 开启比较器功能 =1, 关闭比较器功能	
11-1 0	Pmode[1:0]	有功电能计算方式选择: =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 =01, 只累加正向有功电能 =10, 正反向有功电能都参与累加, 累加方式是绝对值方式, 无反向有功功率符号指示 =11, 保留, 模式与 Pmode = 00 相同	
9	DC_MODE	有效值工作模式控制, 直通模式需设置 WaveEn[EMUCON2.bit5] = 1 =0, 工作在正常模式; =1, 工作在直通模式: 关闭自乘、LPF 和开方运算。	
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	

HLW8110/HLW8112

7	ZXDO	=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, 用于交流信号测量 =1, 关闭电流通道 B 数字高通滤波器, 用于直流信号测量
5	HPFIAOFF	=0, 使能电流通道 A 数字高通滤波器, 用于交流信号测量 =1, 关闭电流通道 A 数字高通滤波器, 用于直流信号测量
4	HPFUOFF	=0, 使能 U 通道数字高通滤波器, 用于交流信号测量 =1, 关闭 U 通道数字高通滤波器, 用于直流信号测量
3-2	NC	-
1	PBrun	=0(默认关闭), 关闭电流B通道有功电能(Energy_PB)的累加功能 =1, 打开电流B通道有功电能(Energy_PB)的累加功能
0	PArun	=0(默认关闭), 关闭电流A通道有功电能(Energy_PA)的累加功能 =1, 打开电流A通道有功电能(Energy_PA)的累加功能

8.2.3 计量控制寄存器 2 EMUCON2

Energy Measure Control Register2(EMUCON2)		Address:0x13	Default Value: 0x0001												
位	名称	功能描述													
15	DOTPSEL	校准系数寄存器(地址为 70H-77H)加载控制信号: =0 时校准系数寄存器加载地址为 {xxx0000B}~{xxx0111B}; =1 时校准系数寄存器加载地址为 {xxx1000B}~{xxx1111B};													
14-13	-	-													
12	SDOCmos	=0, SDO 引脚 CMOS 输出 =1, SDO 引脚 CMOS 开漏输出													
11	EPB_CB	Energy_PB 清除信号控制, 默认为 0 =0 时 Energy_PB 读后清零; =1 时 Energy_PB 读后不清零;													
10	EPA_CA	Energy_PA 清除信号控制, 默认为 0 =0 时 Energy_PA 读后清零; =1 时 Energy_PA 读后不清零;													
9-8	DUPSEL[1:0]	数据更新频率 <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>DUPSEL</th> <th>更新频率</th> <th>DUPSEL</th> <th>更新频率</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>00</td> <td>3.4Hz</td> <td>10</td> <td>13.65Hz</td> </tr> <tr> <td>01</td> <td>6.8Hz</td> <td>11</td> <td>27.3Hz</td> </tr> </tbody> </table>		DUPSEL	更新频率	DUPSEL	更新频率	00	3.4Hz	10	13.65Hz	01	6.8Hz	11	27.3Hz
DUPSEL	更新频率	DUPSEL	更新频率												
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 =0, 测量芯片内部温度, 不能再用于 B 通道测量电流 =1, 测量 B 通道电流													
6	PfactorEN	功率因数 PF 功能使能 =0, 关闭功率因数输出功能													

HLW8110/HLW8112

		=1, 打开功率因数输出功能
5	WaveEN	波形数据、瞬时数据输出使能信号 =0, 关闭波形数据输出功能 =1, 打开波形数据输出功能
4	SAGEN	电压跌落检测使能信号, 需先配置 WaveEn[EMUCON2.bit5] = 1 =0, 关闭电压跌落检测功能 =1, 打开电压跌落检测功能
3	OverEN	过压、过流、过载检测使能信号, 需先配置 WaveEn[EMUCON2.bit5] = 1 =0, 关闭过压、过流、过载检测功能 =1, 打开过压、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, 需先配置 WaveEn[EMUCON2.bit5] = 1 =0, 关闭过零检测、相角、电压频率测量功能 =1, 打开过零检测、相角、电压频率测量功能
1	PeakEN	峰值检测使能信号, 需先配置 WaveEn[EMUCON2.bit5]= 1 =0, 关闭峰值检测功能 =1, 打开峰值检测功能
0	VrefSel	内置基准选择 =0 时无效 =1 时选择 1.25V 基准

8.2.4 脉冲频率寄存器 HFConst

HFConst	Address:0x02		Default Value:0x1000
W/R	Bit15	Bit14.....Bit1	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 (PFCnt_PA / PFCnt_PB) 寄存器值做比较, 如果 PFCNT (PFCnt_PA / PFCnt_PB) 大于等于 HFConst 的值, 那么 Energy_PA / Energy_PB 会加 1, 同时有 PF (INT1 / INT2) 电能脉冲输出。

注: HFConst 的值最大只能到 0xFFFF。

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

PstartPA	Address:0x03		Default Value:0x0060
W/R	Bit15	Bit14.....Bit1	Bit0

PstartPB	Address:0x04		Default Value:0x0060
W/R	Bit15	Bit14.....Bit1	Bit0

PstartPA / PstartPB 是 16 位无符号数, 做比较时, 将其与 PowerPA / PowerPB 的高 24 位的

HLW8110/HLW8112

绝对值进行比较，以做启动判断：|PowerPA 或 PowerPB| >>8 小于 PstartPA / PstartPB 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 0x7FFFFFFF (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启动功率要求的 50%。

8.2.6 有功功率和视在功率增益校正寄存器

PAGain	Address:0x05		Default Value:0x0000
W/R	Bit15	14.....1	Bit0

PBGain	Address:0x06		Default Value:0x0000
W/R	Bit15	14.....1	Bit0

PSGain	Address:0x11		Default Value:0x0000
W/R	Bit15	14.....1	Bit0

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

-100% ≤ PSGain + PAGain (当通道选择为电流通道 A 时) 或 PSGain + PBGain (当通道选择为电流通道 B 时) ≤ +100%。例如 PAGain=0xF800 时，PSGain 可以正增益到 0x7FFF 为最大，负增益到 0x8505 为最小，当 0x8504 就会造成溢出。

8.2.7 相位校正寄存器

PhaseA	Address:0x07		Default Value:0x00
W/R	Bit7	Bit6...Bit0	
	符号位	数据位	

PhaseB	Address:0x08		Default Value:0x00
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° ~ +2.575°，在 60Hz 时相位校准范围：-3.09° ~ +3.09°。

1 LSB 代表 1/895KHz = 1.12us/LSB 的延时，

在 50Hz 下，1 LSB 代表

$$\frac{1.12 \times 360^\circ \times 50}{10^6} = 0.0201^\circ / \text{LSB}$$

在 60Hz 下，1 LSB 代表

$$\frac{1.12 \times 360^\circ \times 60}{10^6} = 0.0241^\circ/\text{LSB}$$

8.2.8 有功功率和视在功率 Offset 校正寄存器

PAOS	Address:0x0A	Default Value:0x0000	
W/R	Bit15	14.....1	Bit0

PBOS	Address:0x0B	Default Value:0x0000	
W/R	Bit15	14.....1	Bit0

PSOS	Address:0x12	Default Value:0x0000	
W/R	Bit15	14.....1	Bit0

有功Offset校准适合微小信号的精度校准。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。

8.2.9 电流有效值 Offset 校正寄存器

RmsIAOS	Address:0x0E	Default Value:0x0000	
W/R	Bit15	Bit14.....Bit1	Bit0

RmsIBOS	Address:0x0F	Default Value:0x0000	
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。

8.2.10 电流通道 B 增益设置 IBGain

IBGain	Address:0x10	Default Value:0x0000	
W/R	Bit15	Bit14.....Bit1	Bit0

电流通道B增益寄存器用于两路电流通道的一致性校正。一致性校正点在100% Ib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)。

8.2.11 直流偏置校正寄存器

DCIA	Address:0x14		Default Value:0x0000
W/R	Bit15	Bit14……Bit1	Bit0

DCIB	Address:0x15		Default Value:0x0000
W/R	Bit15	Bit14……Bit1	Bit0

DCU	Address:0x16		Default Value:0x0000
W/R	Bit15	Bit14……Bit1	Bit0

HLW811X三个通道的直流偏置校正寄存器，用于不需要高通滤波器的计量场合。每个通道的直流偏置校正寄存器为16位。

8.2.12 电压骤降设置寄存器

SAGCYC	Address:0x17		Default Value:0x0000
W/R	Bit15	Bit14……Bit1	Bit0

SAGLVL	Address:0x18		Default Value:0x0000
W/R	Bit15	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。

8.2.13 阈值设置寄存器

OVLVL	Address:0x19		Default Value:0xFFFF
W/R	Bit15	Bit14……Bit1	Bit0

OIALVL	Address:0x1A		Default Value: 0xFFFF
W/R	Bit15	Bit14……Bit1	Bit0

OIBLVL	Address:0x1B		Default Value:0xFFFF
W/R	Bit15	Bit14……Bit1	Bit0

OPLVL	Address:0x1C		Default Value: 0xFFFF
W/R	Bit15	Bit14……Bit1	Bit0

OVLVL、OIALVL、OIBLVL、OPLVL，分别用于设置电压通道、电流通道A、电流通道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)，寄存器的默认值为0xFFFF；默认情况下，该特性禁用。

如果 HLW811X检测到过流、过压、功率过大的条件，OVIF / ROVIF、OIAIF / ROIAIF、OIBIF

/ ROIBIF、OPIF / ROPIF的标志位置1。

8.2.14 Interrupt PIN 功能输出选择寄存器 INT

Interrupt output Register (INT)		Address: 0x1D	Default Value: 0x3210
位	名称	功能描述	
15-12	NC	NC, 默认值 0011b	
11-8	NC	NC, 默认值 0010b	
7-4	INT2 Pin	INT2 Pin 管脚输出功能选择	
		INT2	Description
		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	B 通道使用比较器功能的漏电指示信号输出
		0011	中断信号 IRQ 输出
		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		

3-0	INT1 Pin	INT1 Pin 管脚输出功能选择	
		INT1	Description
		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	B 通道使用比较器功能的漏电指示信号输出
		0011	中断信号 IRQ 输出
		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		

INT1和INT2默认是高电平，有中断则输出脉冲或低电平，过压、过流、过载中断需读取IF REG后，才会产生下一次中断，而过零中断是持续的方波信号输出。

INT1和INT2默认保持高电平，不同中断产生时的电平变化如下：

1. 电能计量脉冲 (PFA或PFB)：INT1和INT2输出脉冲信号；
2. 过零中断：输出方波信号，频率与市电频率一致(如50Hz)；
3. 过载、过压、欠压等中断：输出低电平。

读取RIF REG：不会清除中断标志位。

读取IF REG：会清除中断标志位，标志位清除后，INT1和INT2从低电平恢复为高电平；若再次发生中断，INT1和INT2将重新输出低电平。在使用中断功能时，接收到中断信号后，建议读取IF REG的值，清除当前中断标志位。

8.3 计量参数寄存器

8.3.1 快速有功电能脉冲计数器

PFCnt_PA	Address:0x20		Default Value:0x0000
W/R	Bit15	14.....1	Bit0
PFCnt_PB	Address:0x21		Default Value:0x0000
W/R	Bit15	14.....1	Bit0

PFCnt_PA是通道A快速有功脉冲计数寄存器；PFCnt_PB是通道B快速有功脉冲计数寄存器；为了防止掉电时丢失电能，掉电时MCU将寄存器PFCnt_PA和PFCnt_PB的值读回并进行保存，然后

HLW8110/HLW8112

在下次上电时MCU将这些值重新写入到PFCnt_PA和PFCnt_PB寄存器。

在PARun[EMUCON.bit0]=0时，PFCnt_PA停止更新并保持不变；

在PARun[EMUCON.bit0]=1时：当PFCnt_PA大于等于HFConst的值，PFA会有脉冲输出，有功能量寄存器Energy_PA加1。

在PBRun[EMUCON.bit1]=0时，PFCnt_PB停止更新并保持不变；

在PBRun[EMUCON.bit1]=1时：当PFCnt_PB大于等于HFConst的值，PFB会有脉冲输出，有功能量寄存器Energy_PB加1。

8.3.2 相角寄存器

Angle	Address:0x22	Default Value:0x0000
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°。

线性频率是50Hz，相角计算公式：Angel = R × 0.0805°；

线性频率是60Hz，相角计算公式：Angel = R × 0.0965°。

8.3.3 电压频率寄存器

Ufreq	Address:0x23	Default Value:0x0000
R	Bit15	14.....1 Bit0

电压频率寄存器主要测量基波频率，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=CLKI/8/Ufreq。

例如，系统时钟为CLKI=3.579545MHz，Ufreq=8948，

那么测量到的实际频率为：f = 3579545/8/Ufreq = 3579545/8/8948 = 49.9908Hz。

电压频率测量值更新的周期为0.64s。

$$f = \frac{3579545\text{Hz} \div 8}{\text{Ufreq}} = \frac{3579545\text{Hz} \div 8}{\text{Ufre}8948} = 49.9908\text{Hz}$$

注意：内置振荡的系统时钟会存在偏差。

8.3.4 电流电压有效值寄存器

RmsIA	Address:0x24	Default Value:0x000000
R	Bit23	22.....1 Bit0

RmsIB	Address:0x25	Default Value:0x000000
R	Bit23	22.....1 Bit0

RmsU	Address:0x26	Default Value:0x000000
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时表示补码；

HLW8110/HLW8112

交流测量时，最高位为1，表示数据是0；

直流测量时，最高位为1，表示补码，计算有效值时，需要取绝对值。

8.3.5 功率因数寄存器

PF	Address:0x27		Default Value:0x000000
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。计算公式： $PF = \text{符号位} * |PF| / 0x7FFFFFFF$ 。

当PF=0x7FFFFFFF时，表示功率因数为1.0；当PF=0x800000时，表示功率因数为-1.0；当PF=0x400000时，表示功率因数为0.5。潜动状态下为0x7FFFFFFF，参数更新的频率为3.4Hz。

8.3.6 有功电能寄存器

Energy_PA	Address:0x28		Default Value:0x000000
R	Bit23	22……1	Bit0

Energy_PB	Address:0x29		Default Value:0x000000
R	Bit23	22……1	Bit0

Energy_PA和Energy_PB是有功电能寄存器，Energy_PA是通道A能量寄存器，Energy_PB是通道B能量寄存器，在0xFFFFFFFF溢出到0x000000时，会产生溢出标志PEAOIF和PEBOIF（参见IF REG）。

电能参数是无符号数，Energy_PA的寄存器值代表PFA脉冲的累加个数，Energy_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/EC kWh。其中EC为脉冲常数。

当EPA_CA[EMUCON2.bit10]=0时，Energy_PA寄存器是读后清零型有功能量寄存器；当EPA_CA[EMUCON2.bit10]=1时，Energy_PA寄存器是读后不清零型有功能量寄存器；

当EPB_CB[EMUCON2.bit11]=0时，Energy_PB寄存器是读后清零型有功能量寄存器；当EPB_CB[EMUCON2.bit11]=1时，Energy_PB寄存器是读后不清零型有功能量寄存器。

8.3.7 有功功率寄存器和视在功率寄存器

PowerA	Address:0x2C		Default Value:0x00000000
R	Bit31	30……1	Bit0

有功功率寄存器PowerA是二进制补码格式，32位数据，其中最高位是符号位。PowerA是电压U通道和电流通道A的有功功率寄存器；

PowerB	Address:0x2D		Default Value:0x00000000
R	Bit31	30……1	Bit0

有功功率寄存器PowerB是二进制补码格式，32位数据，其中最高位是符号位。PowerB是电压U通道和电流通道B的有功功率寄存器；

PowerS	Address:0x2E		Default Value:0x00000000
R	Bit31	30……1	Bit0

HLW8110/HLW8112

视在功率寄存器PowerS是二进制补码格式，32位数据，其中最高位是符号位。PowerS是电压通道U和电流通道A的视在功率寄存器或电压通道U和电流通道B的视在功率寄存器。

8.4 计量状态寄存器

EMU STATUS Register (EMUStatus)		Address:0x2F	Default Value: 0x18B32E
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。 =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； =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； ADC2ON=1时，该bit位一直为0。	
20	Nop1dB	通道B有功功率小于起动功率时，Nop1dB被置为1，否则为0	
19	Nop1dA	通道A有功功率小于起动功率时，Nop1dA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	NC	NC	

8.5 峰值、瞬时值和波形寄存器

8.5.1 峰值寄存器

PeakIA	Address:0x30		Default Value:0x000000
R	Bit23	Bit22.....Bit1	Bit0

电流通道A的峰值寄存器，读后清零。

PeakIB	Address:0x31		Default Value:0x000000
R	Bit23	Bit22.....Bit1	Bit0

电流通道B的峰值寄存器，读后清零。

PeakU	Address:0x32		Default Value:0x000000
R	Bit23	Bit22.....Bit1	Bit0

HLW8110/HLW8112

电压通道U的峰值寄存器，读后清零。

8.5.2 瞬时值寄存器

InstanIA	Address:0x33	Default Value:0x000000	
R	Bit23	Bit22……Bit1	Bit0

电流通道A有效值瞬时值，更新频率是6.991KHz。

InstanIB	Address:0x34	Default Value:0x000000	
R	Bit23	Bit22……Bit1	Bit0

电流通道B有效值瞬时值，更新频率是6.991KHz。

InstanU	Address:0x35	Default Value:0x000000	
R	Bit23	Bit22……Bit1	Bit0

电压通道U有效值瞬时值，更新频率是6.991KHz。

InstanP	Address:0x3C	Default Value:0x000000	
R	Bit31	Bit30……Bit1	Bit0

有功功率瞬时值，更新频率是6.991KHz。

InstanS	Address:0x3D	Default Value:0x000000	
R	Bit31	Bit30……Bit1	Bit0

视在功率瞬时值，更新频率是6.991KHz。

8.5.3 波形寄存器

WaveIA	Address:0x36	Default Value:0x000000	
R	Bit23	Bit22……Bit1	Bit0

电流通道A在经过HPF之后的波形数据，更新频率是6.991KHz。

WaveIB	Address:0x37	Default Value:0x000000	
R	Bit23	Bit22……Bit1	Bit0

电流通道B在经过HPF之后的波形数据，更新频率是6.991KHz。

WaveU	Address:0x38	Default Value:0x000000	
R	Bit23	Bit22……Bit1	Bit0

电压通道U在经过HPF之后的波形数据，更新频率是6.991KHz。

8.6 中断状态寄存器

8.6.1 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，INT1/INT2引脚输出相应中断电平信号，具体见 PIN脚功能输出选择寄存器INT 的描述。

Interrupt Enable Register (IE)	Address:0x40	Default Value: 0x0000
--------------------------------	--------------	-----------------------

HLW8110/HLW8112

位	名称	功能描述
15	LeakageIE	B 通道比较器功能的漏电中断使能
14	ZX_UIE	电压过零中断使能
13	ZX_IBIE	电流 A 过零中断使能
12	ZX_IAIE	电流 B 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

8.6.2 中断状态寄存器 IF

Interrupt Enable Register (IF)		Address: 0x41	Default Value: 0x0000
位	名称	功能描述	
15	LeakageIF	=0, 未发生漏电中断 =1, 发生漏电中断	
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	=0, 未发生瞬时值更新事件; =1, 发生瞬时值更新事件;
5	NC	NC
4	PEBOIF	=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	PEAOIF	=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	PFBIF	=0: 未发生 PFB 脉冲输出事件; =1: 发生 PFB 脉冲输出事件;
1	PFBIF	=0: 未发生 PFA 脉冲输出事件; =1: 发生 PFA 脉冲输出事件;
0	DUPDIF	=0: 未发生数据更新事件; =1: 发生数据更新事件.

当某中断事件产生时，硬件会将相应的中断标志置1。

IF寄存器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IF可以同时清零IF 和RIF 寄存器，读后清零，是为仍然能接收新的中断而设计。

8.6.3 复位中断状态寄存器 RIF

Reset Interrupt Flag Register (RIF)		Address: 0x42	Default Value: 0x0000
位	名称	功能描述	
15	RLeakageIF	=0, 未发生漏电中断 =1, 发生漏电中断	
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	

HLW8110/HLW8112

		=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.

RIF的位定义和IF相同，当某中断事件产生时，相应的中断标志置1。

8.7 系统状态寄存器

8.7.1 系统状态寄存器 SysStatus

System Status Register (SysStatus)		Address:0x43H	只读 R
位	位名称	功能描述	
7	保留	读出为0。	
6	Clksel	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		
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	复位标志。当外部RST_N引脚、上电复位结束时和软件全局复位之后，该位置1，读后清零，可用于复位后校表数据请求。	

8.7.2 SPI 读校验寄存器 RDATA

RDATA	Address:0x44	Default Value:0x00000000	
R	Bit31	Bit30……Bit1	Bit0

HLW8110/HLW8112

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。

8.7.3 SPI 写校验寄存器 WDATA

WDATA	Address:0x45		Default Value:0x0000
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。

8.7.4 标准系数寄存器

W/R	系数寄存器	Address	描述	默认值
R	CHECKSUM	0x6F	校表系数校验和	-
R	RmsIAC	0x70	电流通道 A 有效值转换系数	-
R	RmsIBC	0x71	电流通道 B 有效值转换系数	-
R	RmsUC	0x72	电压通道 U 有效值转换系数	-
R	PowerPAC	0x73	电流通道 A 有功功率转换系数	-
R	PowerPBC	0x74	电流通道 B 有功功率转换系数	-
R	PowerSC	0x75	视在功率转换系数	-
R	EnergyAC	0x76	A 通道能量转换系数	-
R	EnergyBC	0x77	B 通道能量转换系数	-

$CHECKSUM = \sim (0xFFFF + RmsIAC + RmsIBC + RmsUC + PowerPAC + PowerSC + RmsUC + EnergyAC + EnergyBC) \& 0xFF$ 。

RmsIAC、RmsIBC和RmsUC寄存器存储有效值转换系数，是16位无符号数。

PowerPAC、PowerPBC和PowerSC寄存器存储有功功率或视在功率转换系数，是16位无符号数。

EnergyAC和EnergyBC寄存器存储能量转换系数，是16位无符号数。

9 免校表计算方法

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，系数的计算误差约在±1%。

电流通道采样电阻为1mΩ，K1=1（K1为放大/缩小倍数，例如锰铜实际为2mΩ，K1=2；锰铜实际为0.5mΩ，K1=0.5）。

电压分压电阻比例为1KΩ/1MΩ，K2=1（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 $0.82K\Omega / 1M\Omega$ ， $K2=0.82$ ）。

9.1 电流有效值计算公式

$$\text{A通道电流有效值} = \frac{\text{RmsIA} \times \text{RmsIAC}}{K1 \times 2^{23}}$$

$$\text{B通道电流有效值} = \frac{\text{RmsIB} \times \text{RmsIBC}}{K1 \times 2^{23}}$$

RmsIA / RmsIB为电流有效值寄存器值；RmsIAC / RmsIBC为电流有效值转换系数寄存器值；
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。

9.2 电压有效值计算公式

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

RmsU为电压有效值寄存器值；RmsUC为电压有效值转换系数寄存器值；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。

9.3 有功功率计算公式

$$\text{A通道有功功率} = \frac{\text{PowerPA} \times \text{PowerPAC}}{K1 \times K2 \times 2^{31}}$$

$$\text{B通道有功功率} = \frac{\text{PowerPB} \times \text{PowerPBC}}{K1 \times K2 \times 2^{31}}$$

PowerPA / PowerPB为有功功率寄存器值；PowerPAC / PowerPBC为有功功率转换系数；有功功率
计算出的单位为W，如计算出的是1100.1，代表1100.1W。

9.4 视在功率计算公式

$$\text{视在功率} = \frac{\text{PowerS} \times \text{PowerSC}}{K1 \times K2 \times 2^{31}}$$

PowerS为视在功率寄存器值；PowerSC为视在功率转换系数寄存器值；视在功率计算出的单位
为W，如计算出的是1100.1，代表1100.1W。

9.5 有功能量计算公式

$$\text{A通道电能} = \frac{\text{Energy_PA} \times \text{EnergyAC} \times \text{HFConst}}{K1 \times K2 \times 2^{29} \times 4096}$$

$$\text{B通道电能} = \frac{\text{Energy_PB} \times \text{EnergyBC} \times \text{HFConst}}{K1 \times K2 \times 2^{29} \times 4096}$$

Energy_PA / Energy_PB为能量脉冲寄存器值； EnergyAC / EnergyBC为能量脉冲校准系数寄存器值；电能计算出的单位为Kwh(度)，如计算出的是2.101，代表2.101度电。

10 校表方法

10.1 校表概述

HLW8110/HLW8112 可以实现软件校表，经过校准，有功精度可达 0.5s 级，校准包括：

- 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

10.2 校表流程和参数计算

在对 HLW8110/HLW8112 设计的单相液晶仪表进行校准时，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 HLW8110/HLW8112 进行校准。

校表流程：

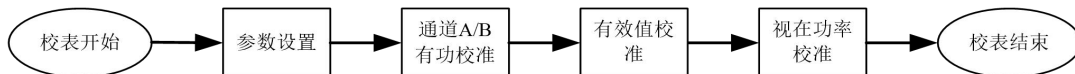


图 25 校准流程

10.3 参数设置

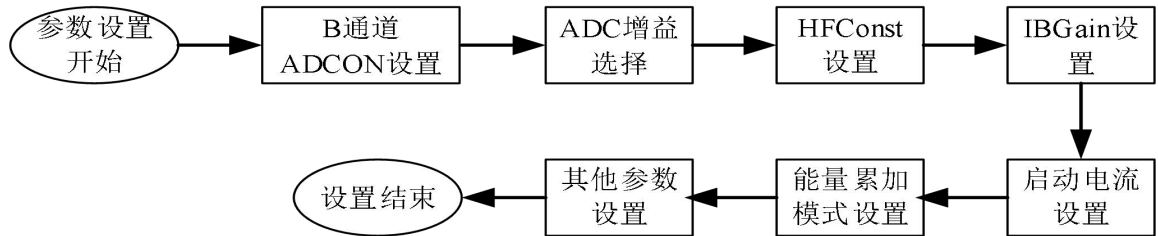


图 26 参数设置流程

IBGain校准

在精度校准之前，使用防窃电功能，需要先进行B通道的增益校准，如果用户不需要防窃电功能，则该步骤可以忽略。

防窃电时，需要对电流A通道和电流B通道的电流有效值进行比较，因而在同样电流输入下，电流A通道和电流B通道的电流的寄存器应该相等。

通过电流B通道的增益设置IBGain，使同样输入电流情况下，二者寄存器的值一致。

假设同样输入的额定电流，电流通道A有效值寄存器读数为RMS_IA，电流通道B的有效值寄存器读数为RMS_IB，则

$$err = \frac{(RMS_IA - RMS_IB)}{RMS_IB}$$

如果err ≥ 0，则 IBGain = INT[err × 2¹⁵]

否则err < 0，则 IBGain = INT[2¹⁶ + err × 2¹⁵]

举例说明：

两路通道都加入了电流信号，读取电流通道A和电流通道B的寄存器数据结果是：

RMS_IA = 0x02F6D5，RMS_IB = 0x02CA76；根据公式，

$$err = \frac{(RMS_IA - RMS_IB)}{RMS_IB} = \frac{(0x02F6D5 - 0x02CA76)}{0x02CA76} = 0.0621$$

由于err > 0，所以 IBGain = 0.0621 × 2¹⁵ = 0x07F3。

将0x07F3 写入IBGain寄存器，写入后，读取RmsIA寄存器和RmsIB寄存器的值，两者应该相等或接近，校准IBGain完成。

HFConst 参数计算：

HFConst的计算公式(以A通道的电流大小进行计算)：

$$HFCONST = 23.2 \times 10^{11} \times \frac{Vu \times Vi}{EC \times Un \times Ib}$$

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/电表常数。

举例说明:

方法一

电表常数(EC)设置为3200, 功率因素为1。

Un(额定电压)为220V, Ib(额定电流)为5A, Vu(电压通道的电压)为0.22V,
Vi(电流通道的电压)为5mV, 内部电流通道为16倍增益, Vi*16 = 80mV,
根据公式:

$$HFCONST = 23.2 \times 10^{11} \times \frac{Vu \times Vi}{EC \times Un \times Ib}$$

计算得到,

$$HFCONST = 23.2 \times 10^{11} \times \frac{0.22 \times 0.08}{3200 \times 220 \times 5} = 0x2D50$$

使用MCU将0x2D50写入HFConst寄存器。写入后, 标准表的显示误差会缩小。

方法二

根据公式反算HFCONST, 电表常数(EC)设置为3200, 功率因素为1。

那么根据公式, $EnergyPA = EC = 3200$, 电能 = 1 KWH, $EnergyPAC = 0xE6CB$, $K1=1$, $K2=1$,

$$HFCONST = \frac{\text{电能} \times K1 \times K2 \times 2^{29} \times 4096}{EnergyPA \times EnergyPAC}$$

计算得到,

$$HFCONST = \frac{1 \times 1 \times 1 \times 2^{29} \times 4096}{3200 \times 0xE6CB} = 0x2D6F$$

计算出HFConst = 0x2D6F的值, 通过MCU将HFConst的值写入HFConst寄存器。

10.4 有功校准

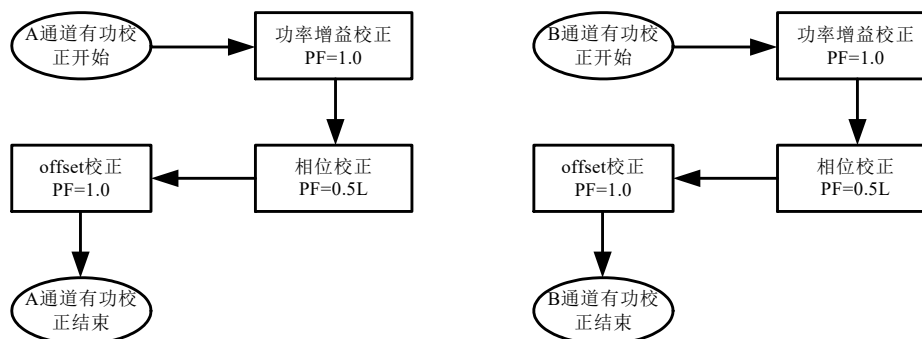


图 27 有功校准流程

功率增益校准:

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(表显误差):

$$\text{err} = \frac{\text{功率} - \text{标准表功率}}{\text{标准表功率}}$$

通过err, 计算PAGain的值:

$$\text{PAGain} = \frac{-\text{err}}{1 + \text{err}}$$

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

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

B通道功率增益校准可通过配置PBGain寄存器实现, 方法同PAGain。

举例说明:

电表常数(EC)设置为3200, 功率因素为1, 在经过第一步HFConst调整后, 标准表上读出的误差显示为-1.78%。

根据公式: $\text{PAGain} = -1.78\% / (1 - 1.78\%) = 0.018$

由于PAGain ≥ 0 , 则PAGain = $0.018 \times 2^{15} = 0x024E$;

过MCU将0x024E的值写入PAGain增益寄存器, 写入后, 标准表的显示误差应该在0附近。

相位校准

A/B通道相位校准寄存器的计算方法:

在增益已经校正好之后, 进行相位补偿, 在功率因素PF=0.5L处进行校正。

PF=0.5L上读出误差为err, $\text{err} = 0.5594\%$

$$\theta = \text{Arcsin} \frac{-\text{err}}{\sqrt{3}}$$

对50Hz, PhaseA/B有0.02度/LSB的关系, 则有

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

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

计算出PhaseA的值后, 写入PhaseA寄存器。

有功Offset 校准:

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:

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

PBOS寄存器计算过程与此相同。

10.5 有效值校准

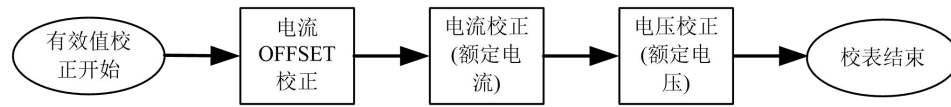


图 28 有效值校准流程

电流Offset校准

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 $I_{avg}[23:0]$;
- 5) 对 I_{avg} 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。

电流校准

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RmsIAreg, 则 $K_{iA}=I_b/RmsIAreg$ 。

其中 K_{iA} 为额定输入时额定值与相应寄存器的比值。因为这些参数没有相应的寄存器, 需要用户根据需要自行计算获取。那么需要显示的电流需要乘以 K_{iA} 这个系数, 则得到正确的电流显示值。

B通道转换系数 K_{iB} 的计算过程与电流校准 K_{iA} 的计算过程相同

电压校准

电压转换系数 K_u 的计算过程与电流校准 K_{iA} 的计算过程相同。

10.6 视在功率校准

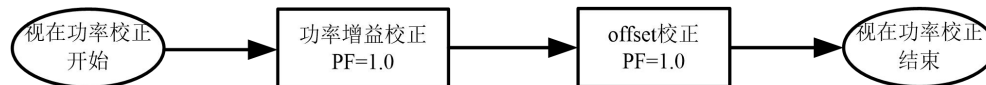


图 29 视在功率校准流程

视在功率增益校准

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:

$$err = (PowerPA - PowerS) / PowerS。$$

如果 $err \geq 0$ ，则 $PSGain = INT[PSGain \times 2^{15}]$ ；
否则 $err < 0$ ，则 $PSGain = INT[2^{16} + PSGain \times 2^{15}]$ ；

视在功率Offset校准

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 Un 、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 $PowerPA$ ，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：

$$PSOS = INT[PowerPA - PowerS];$$

10.7 举例

假设设计一块220V(Un)、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。

计算HFConst

$$Vu=0.16V, \quad Vi=10 \times 0.00025 \times 16=0.040V, \quad EC=1200\text{imp/kWh}, \quad Un=220V, \quad Ib=10A.$$

$HFConst = INT[23.196 \times Vu \times Vi \times 1011 / (EC \times Un \times Ib)] = 5623 = 0x15F7$ ，取整后HFConst为0x15F7，将该值写入HFConst寄存器，完成HFConst校准。

A通道有功校准

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：

$$PAGain = -0.012 / (1 + 0.012) = -0.01186, \quad PAGain < 0, \quad PAGain = INT[2^{16} + PAGain \times 2^{15}] = -0.01186 \times 2^{15} + 2^{16} = 0xFE7B, \quad \text{将 } 0xFE7B \text{ 写入 } PAGain \text{ 寄存器，完成 A 通道增益校准。}$$

A通道相位校准

校完阻性增益后，把功率因数改为0.5L，标准表显示的误差为-0.4%，则 $\theta > 0$ ， $PhaseA = INT[\theta / 0.02] = (\arcsin(-(-0.004) / \sqrt{3})) / 0.02 = 7$ ，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 $\theta < 0$ ， $PhaseA = INT[\theta / 0.02] = (\arcsin(-(0.004) / \sqrt{3})) / 0.02 = -7$ ，在相位选择位Phase_sel=0时输入 $(2^8 - 7 - 96) = 0x99$ 到PhaseA寄存器；在Phase_sel=1时输入 $(2^8 - 7) = 0xF9$ 到PhaseA寄存器；

A通道Offset校准

若标准表给电能表施加 Un 、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 $PA=0x000F5AB7$ （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 $PAOS = INT[-(000F5AB7H \times 0.3\%)] = 0xF436$ ；

B通道有功校准和A通道类似。

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0x268(可以读若干次取平均值)，取反加1为0xFFFD98，取符号位填入RmsIAOS寄存器的Bit15，取Bit14~Bit0填入RmsIAOS Bit14~Bit0得0xFD98，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通道有效值校准类似。

视在功率校准

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=0x00AF389A，平均视在功率寄存器值为PowerS=0x00AE04D4，那么PSGain寄存器的值计算过程如下：

$$\text{err} = (\text{PowerPA} - \text{PowerS}) / \text{PowerS} = 0.691\%;$$
$$\text{PSGain} = \text{INT}[\text{err} \times 2^{15}] = 226 = 0x00E2;$$

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=0x0008C2D4，平均视在功率寄存器值为PowerS=0x0008C1D7，那么PSOS寄存器的值计算过程如下：

$$\text{PSOS} = \text{INT}[\text{PowerPA} - \text{PowerS}] = 253 = 0x00FD;$$

11 通讯协议

11.1 SPI 通讯

当HLW8112的SPIEN引脚接高电平时，HLW8112为SPI通讯方式。

接口组成：采用四线制，包括SCSN(片选)、SDI(数据输入)、SDO(数据输出)和SCLK(时钟)。

数据同步方式：HLW8112在SCLK上升沿从SDO引脚输出数据，在SCLK下降沿从SDI引脚读取数据。

SPI模块复位件：若两个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)。

11.1.1 SPI 命令格式

SPI的命令寄存器是一个8bit的寄存器。对于读写命令操作，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。

命令名称	命令寄存器	数据	描述
读命令	{0[bit7], REG_ADR[bit6:bit0]}	RDATA	最高位是0，从地址为REG_ADR[6:0]的寄存器中读取数据

写命令	{1[bit7], REG_ADR[bit6:bit0]}	WDATA	最高位是 1, 向地址为 REG_ADR[6:0]的寄存器中写数据
写使能命令	0xEA	0xE5	解锁写保护, 允许寄存器写操作
写保护命令	0xEA	0xDC	锁定写保护, 禁止寄存器写操作
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、功率因素、相角、瞬时视在功率和有功功率过载的信号指示为通道 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、功率因素、相角、瞬时视在功率和有功功率过载的信号指示为通道 B
复位指令	0xEA	0x96	复位指令, 接收到指令后芯片复位

11.1.2 SPI 读操作

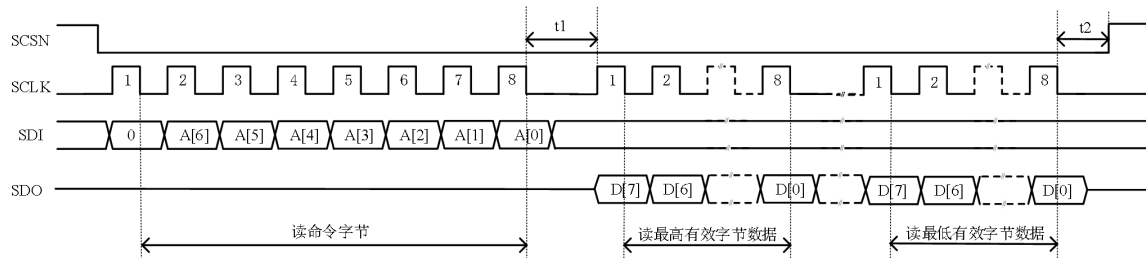


图 30 SPI 读接口时序图

工作过程:

主机在SCSN 有效后, 先通过SPI 写入命令字节, HLW8112收到命令字节后, 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, 先输出高字节数据, 再传输低字节数据;
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。

示例:

读操作由主机发送命令, HLW811X返回数据, 读取 0x02 地址数据, 流程如下:

步骤 1: 主机发送 “读寄存器命令”

发送帧序列:

1. 命令：0x02 (bit7=0(读命令), bit6~bit0=0x02(地址))

步骤 2: 主机接收芯片返回数据

接收帧序列(假设芯片返回数据为 0x1000, 按 “高字节 0x10→低字节 0x00” 传输):

1. 数据高字节: 0x10
2. 数据低字节: 0x00

11.1.3 SPI 写操作

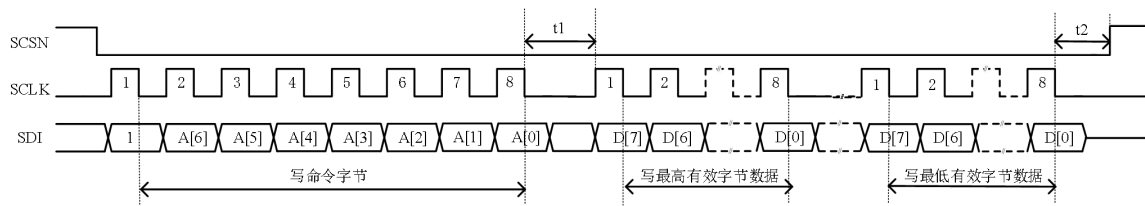


图 31 SPI 写接口时序图

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, 高比特在前, 低比特在后;
- 2、多字节寄存器, 先传输高字节数据, 再传输低字节数据;
- 3、主机在SCLK上升沿写数据, HLW8112在SCLK下降沿读取数据;
- 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。

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。

示例:

对地址为0x02的HFConst REG写入数据0x1234, SPI数据发送如下:

步骤 1: 发送 “写使能命令” (解锁写保护)

发送帧序列:

1. 命令: 0xEA
2. 数据字节: 0xE5

步骤 2: 发送 “写寄存器命令 + 数据”

发送帧序列(0x1234 需按 “高字节 0x12→低字节 0x34” 传输):

1. 命令: 0x82(bit7=1(写命令), bit6~bit0=0x02(地址))
2. 数据高字节: 0x12
3. 数据低字节: 0x34

步骤 3: 发送 “写保护命令” (关闭写保护)

发送帧序列:

1. 命令：0xEA
2. 数据字节：0xDC

11.1.4 SPI 通讯可靠性

一、写入数据校验(基于WDATA寄存器)

WDATA寄存器用于保存前一次写入的2字节数据，可通过其验证数据写入是否成功，流程如下：

1. 向目标寄存器(如SYSCON)写入数据(例：0x0f04)；
2. 读取WDATA寄存器的值，若其与写入数据(0x0f04)一致，可判定写入成功；
3. 或再次读取目标寄存器(SYSCON)的值，若与写入数据(0x0f04)一致，同样可确认写入成功。

二、读取数据校验(基于RDATA寄存器)

RDATA寄存器用于保存前一次读出的4字节数据，可通过其验证数据读取是否正常，流程如下：

1. 读取目标寄存器(如RmsIA)的值(例：0x123456)；
2. 读取RDATA寄存器的值，由于RDATA为4字节存储，需注意数据对齐(例：目标数据0x123456对应RDATA应为0x00123456)；
3. 若两者数值一致，可判定读取过程通讯正常。

三、异常数据判断(全F数据处理)

当HLW8112未收到正确指令时，SD0引脚一直处于高电平状态，读取到的数据会为全F(0xffff、0xffffffff或0xfffffffff)，此时可直接判定为异常数据，需触发重新读取流程，直至获取有效数据。

通过上述机制，可有效弥补SPI无校验和的缺陷，从写入验证、读取验证及异常拦截三方面提升通讯可靠性。

11.2 UART 通讯

HLW811X 的 UART 接口主要特点如下：

工作在从模式，半双工通讯，9 位 UART(含偶校验位)，符合标准 UART 协议，HLW8112 可以通过硬件管脚配置波特率 9600/19200/38400bps，HLW8110 的波特率是 9600bps，帧结构包含头帧字节 0xA5 和校验字节 Checksum。

11.2.1 UART 接口说明

HLW8110 默认 UART 通讯接口。

HLW8112 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 SD0/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。

在UART通讯时，如果RX保持低电平或高电平超过9.15ms，可以复位UART时序，复位UART不会改写已经写入芯片内部的寄存器值。MCU在与HLW8110/HLW8112进行UART通讯时，如果发生接

HLW8110/HLW8112

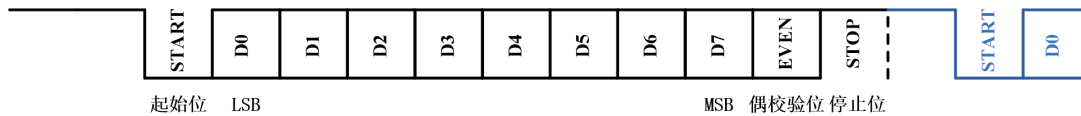
收数据异常，可以尝试复位UART时序。

波特率设置方式如下表：

SPIEN	SCLK	SCSN	通讯模式	波特率	备注
1	X	X	SPI		非 UART 模式
0	1	1	UART	38400	-
0	0	1	UART	19200	-
0	1	0	UART	9600	HLW8110 波特率

11.2.2 UART 数据字节格式

HLW8110/HLW8112 的 UART 为 9 位异步通讯接口，发送、接收一个字节信息由 11 位组成，即 1 位起始位(0)、8 位数据位(低位在先)、1 位偶校验位(第 9 数据位)、1 位停止位(1)。如下图所示：



11.2.3 UART 帧格式

HLW8112/HLW8110 的 UART 通讯帧格式如下表所示：

帧头 (1 字节)	命令字节 (1 字节)	数据字节 (N 字节)	帧尾/校验字节 (1 字节)
0xA5	CMD	DataN(高字节) → Data1(低字节)	Checksum

对于特殊命令，CMD[bit7:bit0]固定为0xEA。

对于寄存器读写命令，CMD的bit7用来确定本次数据传输操作的类型是向HLW811X进行读寄存器值的操作还是写入寄存器值操作。

校验字节Checksum的发送：

写寄存器操作：由主机(MCU)计算并发送

读寄存器操作：由芯片(HLW8110/HLW8112)计算并发送

$Checksum[7:0] = \sim(A5 + CMD[7:0] + DataN[7:0] + \dots + Data1[7:0]) \& 0xFF$ ，即将 A5、CMD 和数据相加，抛弃进位，最后的结果按位取反；

特殊命令

此类命令用于芯片全局控制(如写使能、通道选择、复位)，格式为“0xA5 + 0xEA + 数据字节 + Checksum”，具体如下：

HLW8110/HLW8112

命令名称	命令字节	数据字节	完整帧示例(含校验)	功能描述
写使能命令	0xEA	0xE5	0xA5、0xEA、0xE5、0x8B	解锁写保护，允许寄存器写操作
写保护命令	0xEA	0xDC	0xA5、0xEA、0xDC、0x94	锁定写保护，禁止寄存器写操作
电流通道A选择	0xEA	0x5A	0xA5、0xEA、0x5A、0x16	指定通道 A 用于计算视在功率、功率因数、相角和有功功率过载等参数
电流通道B选择	0xEA	0xA5	0xA5、0xEA、0xA5、0xCB	指定通道 B 用于计算视在功率、功率因数、相角和有功功率过载等参数
芯片复位指令	0xEA	0x96	0xA5、0xEA、0x96、0xDA	触发芯片复位

寄存器读写命令

CMD的bit7用来确定本次数据传输操作的类型是向HLW811X进行读寄存器值的操作还是写入寄存器值操作。

1. CMD[bit7]:表示命令类别; 0:读寄存器操作, 1:写寄存器操作。
2. CMD[bit6:bit0]是HLW811X的寄存器地址。
3. CMD的最高位bit7是0时, 是向寄存器读数据的操作。CMD的最高位bit7是1时, 是向寄存器写入数据的操作。
4. HLW811X的UART 数据传送, 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。

操作类型	CMD 特征	数据字节要求	功能描述
读寄存器	bit7=0(如读 0x02 地址: CMD=0x02)	无(芯片返回数据)	从指定地址(bit6~bit0)读取寄存器数据, 芯片后续返回“数据字节 + 校验字节”
写寄存器	bit7=1(如写 0x02 地址: CMD=0x82)	需传入待写数据(多字节按“高→低”顺序)	向指定地址写入数据, 需先发送“写使能命令”解锁保护

示例: 读 0x00 地址寄存器的命令帧为“0xA5、0x00”(无数据字节, 后续接收芯片返回值)

11.2.4 UART 写操作

写操作需遵循“写使能→发写命令→写保护”三步, 确保寄存器解锁后再写入。

对地址为0x02的HFConst REG写入数据0x1234, UART数据发送如下:

步骤 1: 发送“写使能命令”(解锁写保护)

发送帧序列:

1. 帧头: 0xA5
2. 命令: 0xEA
3. 数据字节: 0xE5
4. 校验字节: 0x8B(计算: $\sim(0xA5+0xEA+0xE5) \& 0xFF = 0x8B$)

步骤 2: 发送“写寄存器命令 + 数据”

发送帧序列(0x1234 需按 “高字节 0x12→低字节 0x34” 传输):

1. 帧头: 0xA5
2. 命令: 0x82(bit7=1(写), bit6~bit0=0x02(地址))
3. 数据高字节: 0x12
4. 数据低字节: 0x34
5. 校验字节: 0x92(计算: $\sim(0xA5+0x82+0x12+0x34) \& 0xFF = 0x92$)

步骤 3: 发送 “写保护命令” (关闭写保护)

发送帧序列:

1. 帧头: 0xA5
2. 命令: 0xEA
3. 数据字节: 0xDC
4. 校验字节: 0x94(计算: $\sim(0xA5+0xEA+0xDC) \& 0xFF = 0x94$)

11.2.5 UART 读操作

读操作由主机发送命令, HLW811X返回数据, 以读取0x02地址数据为例, 流程如下:

步骤 1: 主机发送 “读寄存器命令”

发送帧序列:

2. 帧头: 0xA5
3. 命令: 0x02(bit7=0(读), bit6~bit0=0x02(地址))

步骤 2: 主机接收芯片返回数据

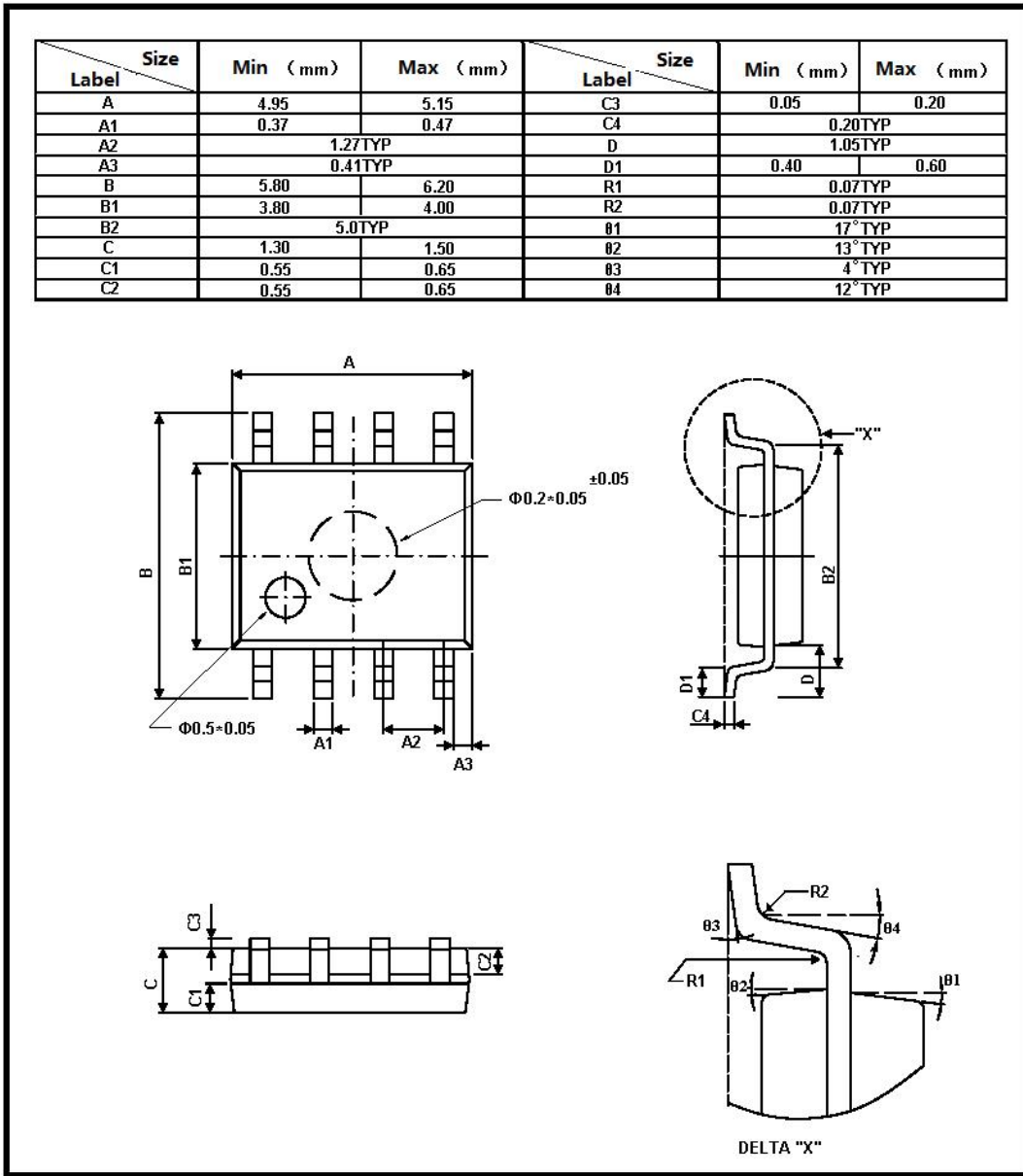
接收帧序列(假设芯片返回数据为 0x1000, 按 “高字节 0x10→低字节 0x00” 传输):

3. 数据高字节: 0x10
4. 数据低字节: 0x00
5. 校验字节: 0x48(计算: $\sim(0xA5+0x02+0x10+0x00) \& 0xFF = 0x48$)

12 芯片封装

12.1 HLW8110 封装图

HLW8110 使用 SOP8 封装, 具体封装信息如下图所示:



12.2 HLW8112 封装图

HLW8112 使用 SSOP16 封装，具体封装信息如下图所示：

HLW8110/HLW8112

