

RY5468 产品说明书

单相智能电表专用计量芯片

Date: 2012-08-10

Rev: 1.0

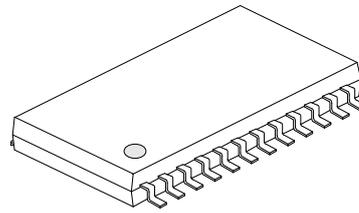
目录

1	产品介绍.....	3
2	内部框图.....	4
3	管脚说明.....	5
4	典型应用.....	7
5	电路参数.....	8
6	功能描述.....	11
7	通信接口.....	15
8	校表流程.....	29
9	封装外形.....	30

1 产品介绍

描述

RY5468 集成了三路 24 位 Σ - Δ ADC。能计量有功功率、视在功率、有功电能、视在电能。提供独立的线电压和两路电流有效值。监测相线、零线功率，有效防窃电，防潜动。



SSOP-24-300-0.65

主要特点

- ◆ 计量
 - 提供三路 24 位 Σ - Δ ADC
 - 计量精度在 2000: 1 动态范围内小于 0.1%，支持 IEC62053-22: 2003 标准
 - 提供相线、零线电流和相线电压有效值，在 2000: 1 动态范围内误差小于 0.1%
 - 内置防窃电指示、可设置自动切换功能，参数可配置
 - 防潜动功能，潜动阈值可软件配置
 - 提供线电压频率测量和过零检测
 - 提供反相功率指示
 - 提供功率因素
 - 提供电流和相线瞬态电压波形
- ◆ 软件校表
 - 两路电流和电压增益可软件设置
 - 两个功率增益可软件独立设置
- ◆ SPI 接口
 - 最高 2MHz 通信速度，每一帧传输数据做自校验
 - 支持片选使能与非片选使能，在非片选使能应用中，可节省一个光耦和 MCU 端口
 - 高速接口可直接读取电流电压瞬态波形
- ◆ 参数设置寄存器提供写保护功能
- ◆ 提供参数寄存器校验和
- ◆ 具有电源监控功能
- ◆ 电源 5V 供电功耗典型值 30mW
- ◆ 内置 2.5V+3%参考电压，温度系数典型值 20ppm/°C

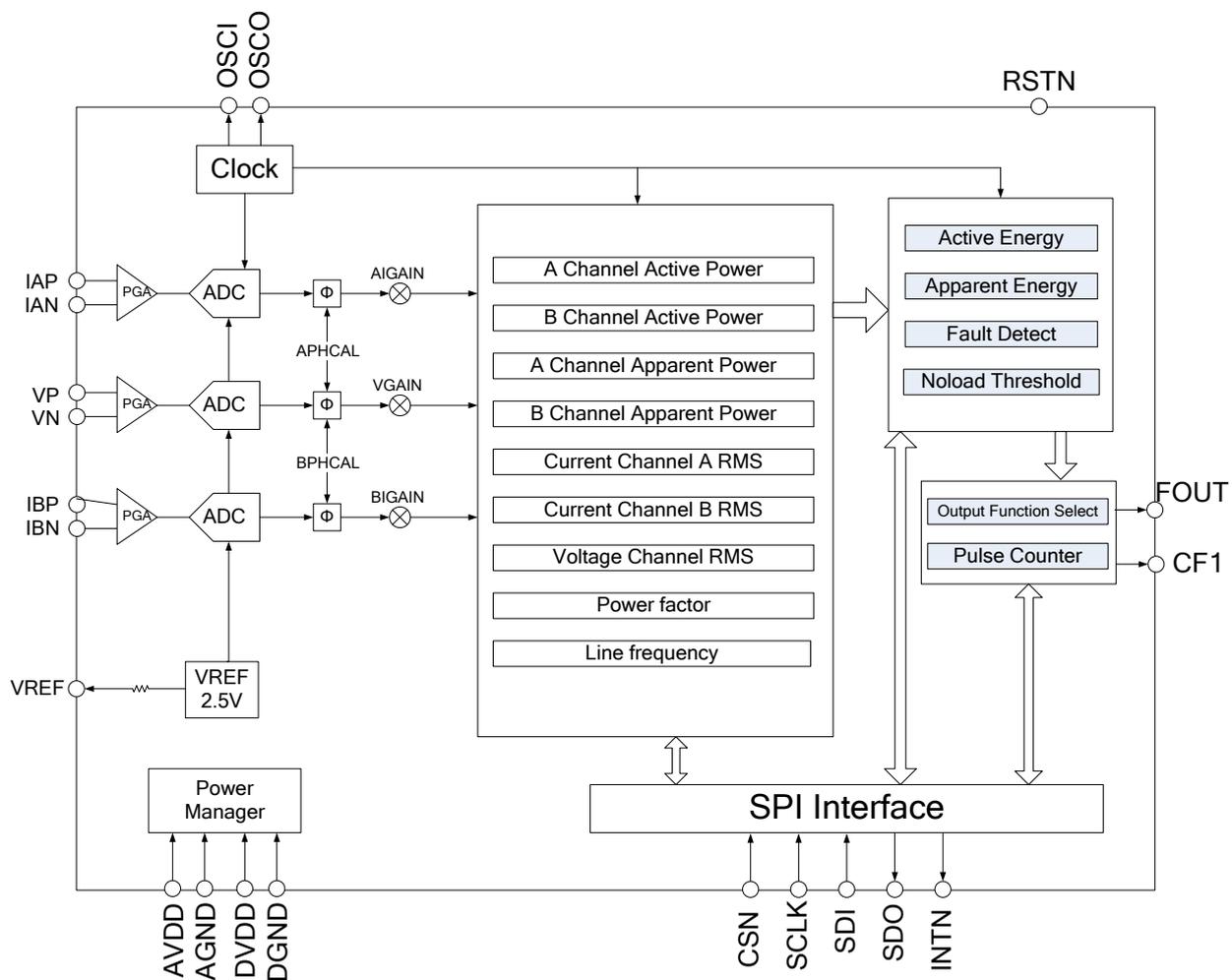
产品规格分类

产品	封装形式
RY5468	SSOP-24-300-0.65

应用

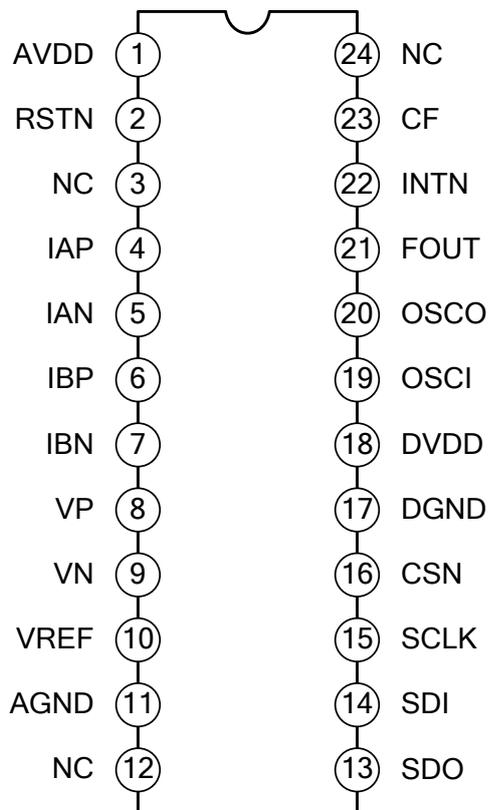
- 单相智能电表
- 智能家电

2 内部框图



3 管脚说明

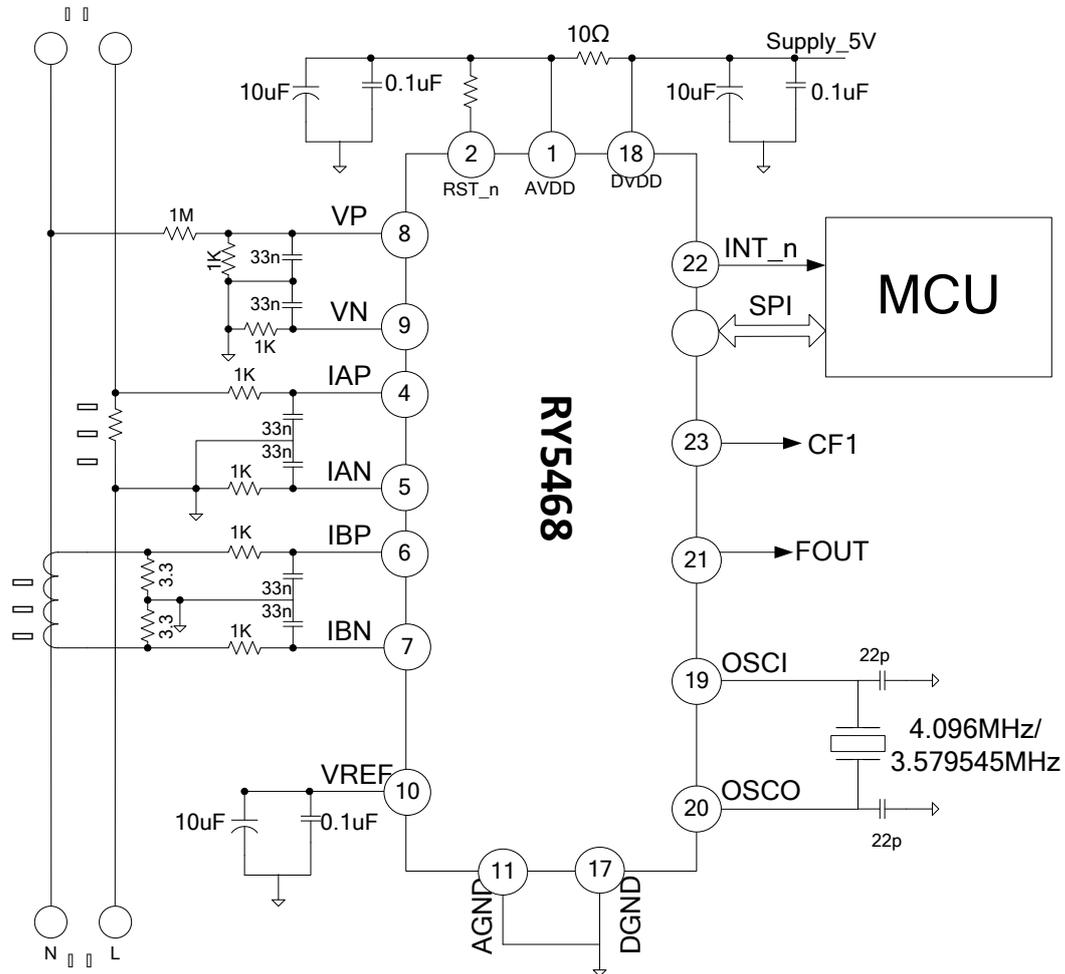
管脚排列图



管脚描述

管脚名称	输入/输出	功能描述
AVDD	电源	模拟电源
RSTN	输入	复位输入脚，低电平复位，高电平释放
NC	—	不连接
IAP	模拟输入	电流通道 A 的差分输入脚，最大输入峰值为±500mV，在 CONFIG 寄存器中设置增益
IAN	模拟输入	
IBP	模拟输入	电流通道 B 的差分输入脚，最大输入峰值为±500mV，在 CONFIG 寄存器中设置增益
IBN	模拟输入	
VP	模拟输入	电压通道的差分输入脚，最大输入峰值为±500mV
VN	模拟输入	
VREF	输入/输出	2.5V 基准电压输入输出脚，要外接 10uF 电容并联 0.1uF 电容进行去藕
AGND	接地	模拟地
NC	—	不连接
SDO	输出	SPI 串行数据输出脚
SDI	输入	SPI 串行数据输入脚
SCLK	输入	SPI 串行时钟输入脚
CSN	输入	SPI 串行片选输入脚
DGND	接地	数字地
DVDD	电源	数字电源
OSCI	输入	晶振输入输出脚，OSCI 可外接系统时钟，频率典型值为 4.096MHz/3.579545MHz
OSCO	输出	
FOUT	输出	状态指示功能输出脚，在 CONFIG 寄存器中设置
INTN	输出	中断输出脚，在 CONFIG 寄存器中设置中断触发模式
CF	输出	校表脉冲输出脚

4 典型应用



5 电路参数

电气特性

(VDD= 5V±5%, GND=0V, 使用片内基准源, CLKOSC=4.096MHz, 温度范围=-40~+85℃)

参 数	规格	单 位	测试条件及注释
精度 ^{1,2}			
两个通道的测量误差 ¹			
G=1	0.1	%读数 typ	动态范围 2000: 1
G=16	0.1	%读数 typ	动态范围 2000: 1
两个通道间的相位误差 ¹			
超前 60° (PF=0.5 容性)	±0.1	度 (°) max	
滞后 60° (PF=0.5 感性)	±0.1	度 (°) max	
频率影响	±0.1	%读数 typ	线路频率 45~65Hz
交流电源抑制 ¹			G=1
输出频率变化 (CF)	0.2	%读数 typ	IA=IB=V=100mVrms, 50Hz
			VDD 加有 200 mV rms, 100Hz 纹波
直流电源抑制 ¹			G=1
输出频率变化 (CF)	±0.3	%读数 typ	IA=IB=V=100mVrms
			VDD =5V±250mV
模拟输入			见模拟输入部分
最大信号电平	±1	Vmax	IAP,IAN,IBP,IBN,VP,VIN,V2N 和 VN 对 GND 的电压
直流输入阻抗	390	kΩ min	CLKOSC=4.096MHz
-3dB 带宽	16	kHz typ	CLKOSC/256, CLKOSC=4.096MHz
ADC 失调误差 ^{1,2}	±16	mV max	
增益误差 ¹	±8	%理想值 typ	内部基准, G=1
			IA=IB=V=500mV dc
增益匹配误差 ¹	±0.2	%理想值 typ	内部基准
基准输入			
REF _{IN/OUT} 输入电压范围	2.7	V max	2.5V+8%
	2.3	V min	2.5V-8%
输入阻抗	3.2	kΩ min	
输入电容	10	pF max	
片内基准源			标称值 2.5V
基准电压误差	±500	mV max	
温度系数	±20	ppm/°C typ	
时钟输入			注意: 所有指标 CLKOSC 均为 4.096MHz
输入时钟频率	4.2	MHz max	
	1	MHz min	
SPI 时钟频率	2	MHz max	DVDD=5V

参 数	规格	单 位	测试条件及注释
逻辑输入 ³			
输入高电平, V_{INH}	2.4	V min	VDD=5V±5%
输入低电平, V_{INL}	0.8	V max	VDD=5V±5%
输入电流, V_{IN}	±3	μ A max	典型值 10nA, $V_{IN}=0V$ 至 VDD
输入电容, V_{IN}	10	pF max	
逻辑输出 ³			
输出高电平, V_{OH}	4.5	V min	$I_{SOURCE}=10mA$, VDD=5V
输出低电平, V_{OL}	0.5	V max	$I_{SINK}=10mA$, VDD=5V
CF1,CF2,CF3			
输出高电平, V_{OH}	4	V min	$I_{SOURCE}=10mA$, VDD=5V
输出低电平, V_{OL}	0.5	V max	$I_{SINK}=10mA$, VDD=5V
电源			为达到规定指标对电源的要求
VDD	4.75	V min	5V-5%
	5.25	V max	5V+5%
I_{DVDD}	4.0	mA max	典型值 3.4mA
I_{AVDD}	3.0	mA max	典型值 2.6mA

极限参数

VDD 相当于 GND 电压	-0.3V~+7V
模拟输入 IAP,IAN,IBP,IBP,VP 和 VN 相当于 GND 电压.....	-6V~+6V
基准输入电压相当于 GND	-0.3V~VDD+0.3V
数字输入电压相当于 GND	-0.3V~VDD+0.3V
数字输出电压相当于 GND	-0.3V~VDD+0.3V
工作温度范围: 工业级.....	-40°C~+85°C
存储温度范围	-65°C~+150°C
结温	+150°C
24 脚 SSOP 封装散耗功率.....	450mW
热阻	112°C/w
焊接温度汽相焊接 (60 秒)	+215°C
红外焊接 (15 秒)	+220°C

动态参数

(VDD= 5V±5%, GND=0V, 使用片内基准源, CLKOSC=4.096MHz, 温度范围=-40~+85℃)

参 数	符号	最小值	典型值	最大值	单位
SPI 通信传输时序					
CS_n 下降沿与 SCLK 下降沿延迟	t_cs	0			ns
SCLK 下降沿与 SDI 数据延迟	t_sdi	0			ns
SDI 数据建立时间	t_setup	50			ns
SDI 数据保持时间	t_hold	50			ns
SDO 数据输出延迟	t_sdo			100	ns
SPI 数据传输速度	t_clk	500			ns
START 指令时序					
SDI 下降沿保持时间	t_sn	200			ns
SDI 上升沿建立时间	t_sp	200			ns
SCLK 设置时间	t_sset	500			ns
SPI 挂起保持时间	t_shold	500			ns
CF 脉冲					
CF 脉冲周期	Tcf	2000			ns
CF 高电平脉冲宽度 (Tcf<5Hz)	t_pulse		100		ms
CF 脉冲边沿抖动	CF_jitter			1	us
CF 脉冲占空比 (Tcf>5Hz)	Duty_pulse		50		%

6 功能描述

1. 复位电路(Reset)

R5468 具有三种复位方式，内部上电复位、外部管脚复位以及 SPI 接口复位。

a) 内部上电复位(Power On Reset)

R5468 内置上电检测电路，在上电过程中，当 AVDD 电压高于 2.2V 时释放复位状态，启动晶振和参考电路；且 SPI 接口电路释放复位状态；该复位状态拥有最高优先级。

b) 外部管脚复位(Pin Reset)

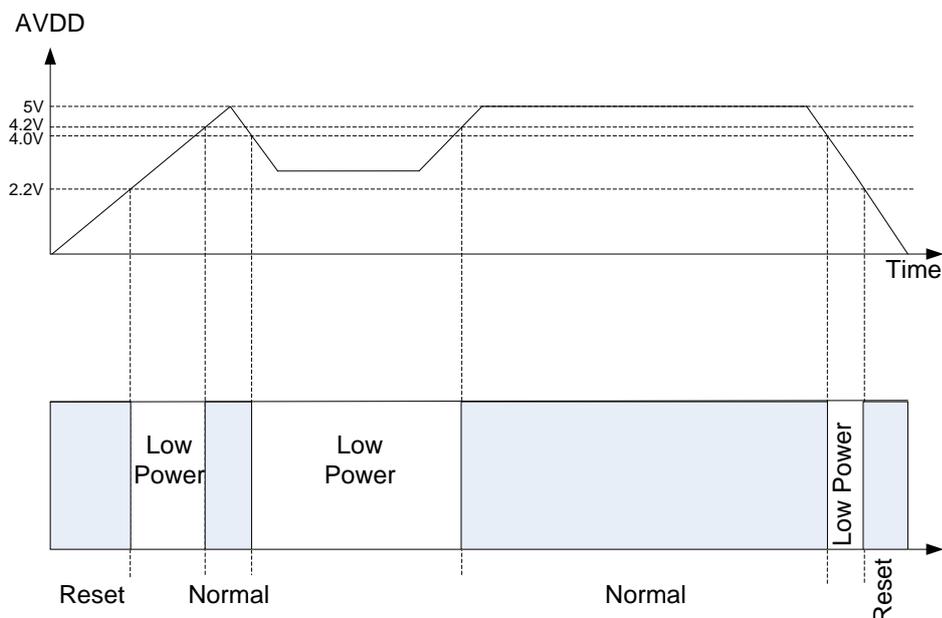
通过 RSTN 管脚可以实现复位，置低电平处于复位状态，高电平释放；该复位与 Power On Reset 效果相同。

c) SPI 接口复位(Soft Reset)

通过 SPI 接口的复位指令可实现 R5468 内部电路复位功能，该复位状态与 Power On Reset 以及 Pin Reset 区别在于前两种复位对 SPI 接口、振荡器、参考电路同时进行复位，而 Soft Reset 只对内核处理器以及 ADC 和内部存储器复位。

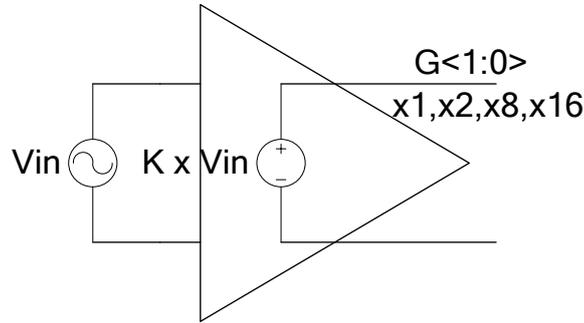
2. 低电压检测电路(Low Power Detect)

R5468 内置低电压检测电路，检测 AVDD 电压高于 $4.2V \pm 0.1V$ 时开启三路 ADC 通道和 DSP 运算模块以及 CF 输出功能；当 AVDD 电压低于 $4.0V \pm 0.1V$ 时关闭 ADC 通道和 DSP 以及停止 CF 输出功能。

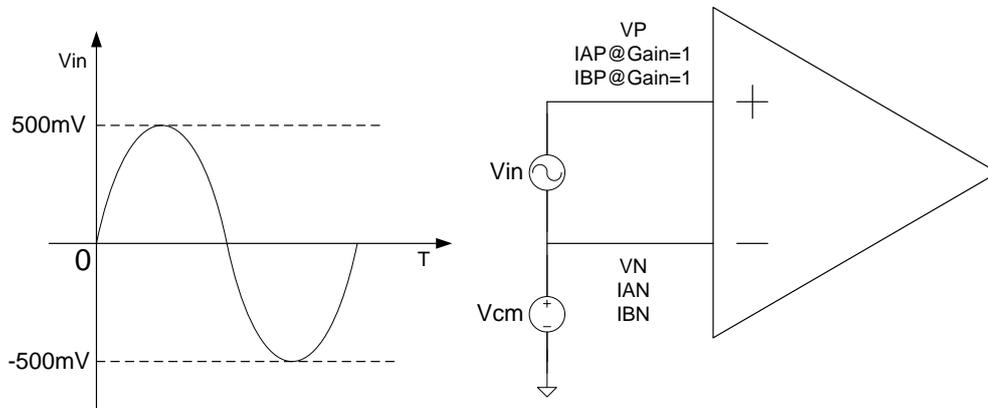


3. 模拟输入

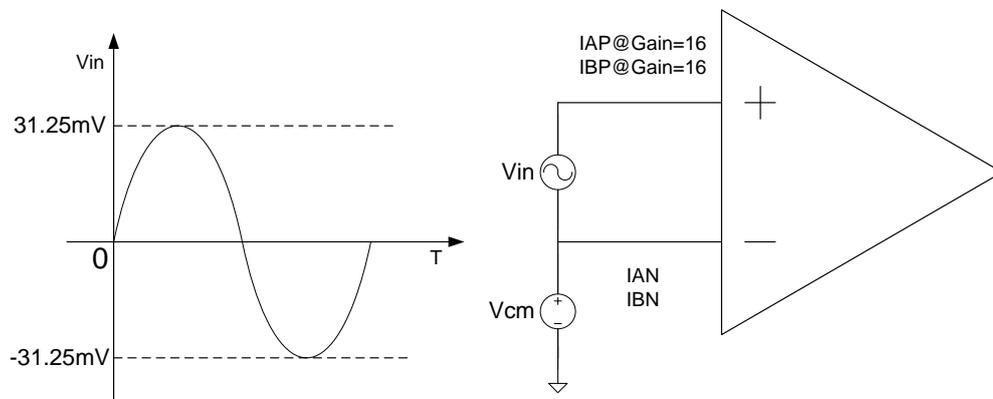
Ry5468 具有三路全差分输入通道，两路电流通道内置增益控制(PGA)，可有寄存器设置增益为 x1,x2,x8,x16 倍，。



下图是当设置 Gain=x1 时电压通道以及两路电流通道的最大输入信号峰值为 500mV。



下图是当设置 Gain=x16 时电流通道的最大输入信号幅度为 31.25mV。

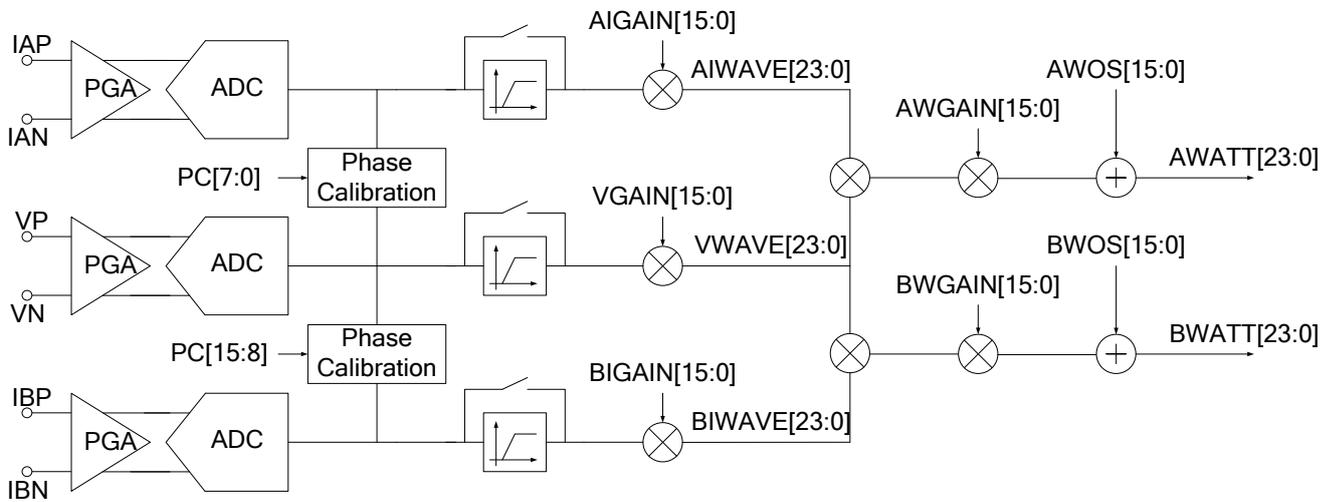


4. 24 位 Sigma-Delta ADC

RY5468 具有三个独立的 24 位高精度 Sigma-Delta ADC, 分别用于一路电压, 两路电流; 采用 1.024MHz 采样速率, 输出数据速率达到 8kHz。在输入信号频率范围在 40~4kHz 内保证高精度低失真。完美实现 21 次谐波以内的信号转换。可通过高速 SPI 端口直接读取 ADC 输出, 在一个完整的 50Hz 周波内读取 160 点的精确数据, 芯片内部的 AIWAVE、BIWAVE、VWAVE 数据刷新速率为 8kHz, 可由外部高性能 CPU 高速读取此三个通道的波形数据, 进行谐波分析等复杂处理。

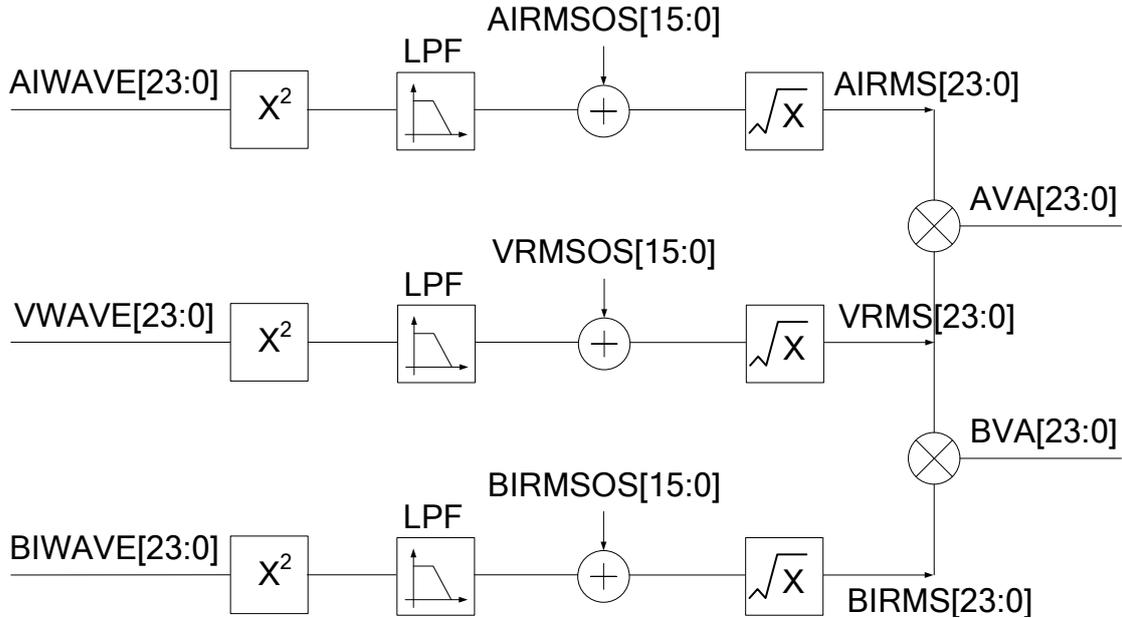
5. 有功功率

RY5468 经 ADC 转换后采用全 DSP 处理方式, 保证数据运算高精度低干扰, 保证在极其恶劣的环境下仍能保证高精度计量。下图为芯片运算有功功率的数据通道。



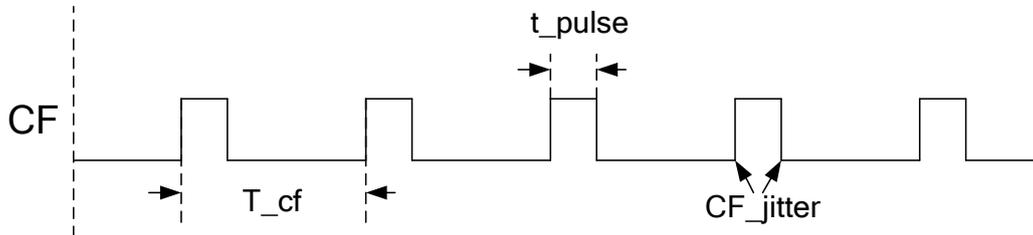
6. 有效值和视在功率

R5468 采用高精度，极低运算误差的算法实现一路电压两路电流的 RMS 运算，保证在 2000: 1 动态范围内实现电流电压的 RMS 精度。



7. CF 校表脉冲

R5468 可以通过设置 CFDEN 寄存器调整 CF 校表脉冲输出频率。当电能累计值达到设置值时，产生一个高电平 CF 脉冲，当 CF 脉冲频率低于 5Hz 时，CF 高电平脉冲占空比为 50%，当 CF 脉冲频率高于 5Hz 时，CF 高电平脉冲宽度为 100ms。理论上当输入功率稳定时，CF 脉冲上升沿与下降沿都非常稳定，各边沿抖动小于 1uS，既可以用上升沿检测误差，也可以用下降沿检测误差；满足目前各种校验台误差器要求。



7 通信接口

1. 接口定义

RY5468 提供的 SPI 接口分为控制指令通信和读写指令通信两种类型通信。

- 控制指令通信：控制指令通信为 8 位的指令字节，提供三条控制指令：

定义	Hex	Bin	描述
软件复位	0xA4	10100100	通过 SPI 接口对 RY5468 做复位
设置写保护	0xF5	11110101	可写寄存器写入保护状态设置
释放写保护	0xE3	11100011	可写寄存器写入保护状态释放

- 读写指令通信：包含三个部分，指令字节，数据字节和校验字节。

定义	Hex	Bin	描述
寄存器读	---	000xxxxx	内部寄存器读出数据指令
寄存器写	---	010xxxxx	内部寄存器写入数据指令

- ◆ 数据读指令：

数据字节包含 24 位数据，依次为高 8 位、中 8 位、低 8 位数据。
 校验字节包含 8 位校验数据，运算方式为指令字节、数据字节高 8 位、中 8 位、低 8 位累加和取反码。

$$\text{Checksum} = \sim(\text{Comm_Byte} + \text{High_Byte} + \text{Mid_Byte} + \text{Low_Byte})$$

(注：Comm_Byte = 0x40 + Address)

- ◆ 数据写指令：

数据字节包含 16 位数据，依次为高 8 位和低 8 位数据。
 校验字节包含 8 位校验数据，运算方式为指令字节、数据字节高 8 位、低 8 位累加和取反码。

$$\text{Checksum} = \sim(\text{Comm_Byte} + \text{High_Byte} + \text{Low_Byte})$$

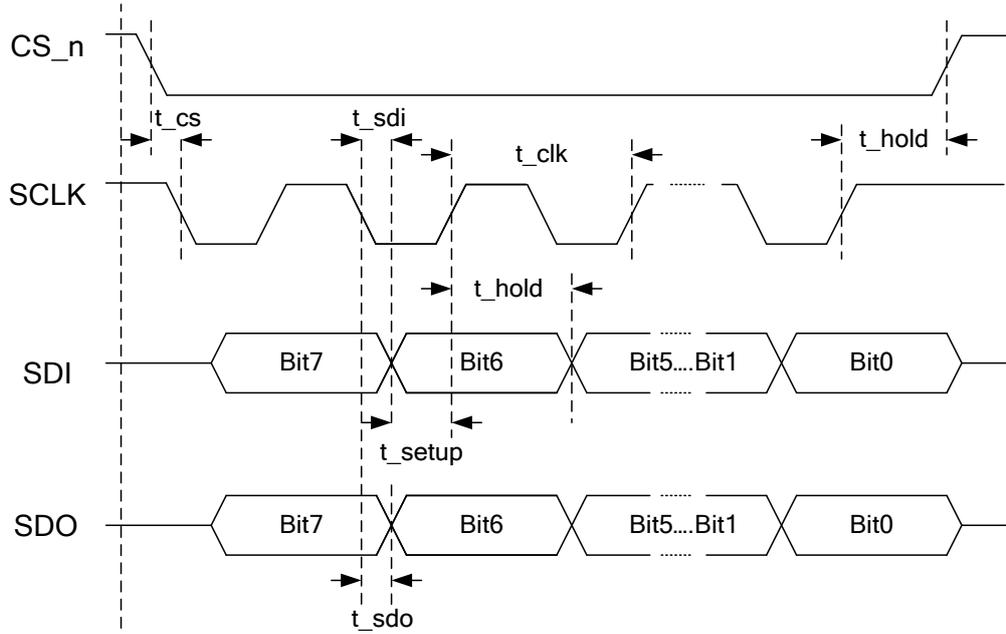
(注：Comm_Byte = 0x00 + Address)

数据写指令在发送校验字节后，需重复发送一次 checksum 字节，用于内部 SPI 结构同步。

2. 接口时序

R5468 提供的 SPI 接口可以使用片选(CS_n)控制通信也可以无片选控制通信。在数据传输过程中，SCLK 管脚高电平时 SDI 管脚保持数据稳定，在 SCLK 低电平时 SDI 执行电平翻转。仅 START 指令定义 SCLK 高电平时的 SDI 电平翻转。

R5468 内部在 SCLK 上升沿读取 SDI 数据为有效数据，在 SCLK 下降沿发送 SDO 数据，MCU 在 SCLK 上升沿或高电平读取 SDO 数据。



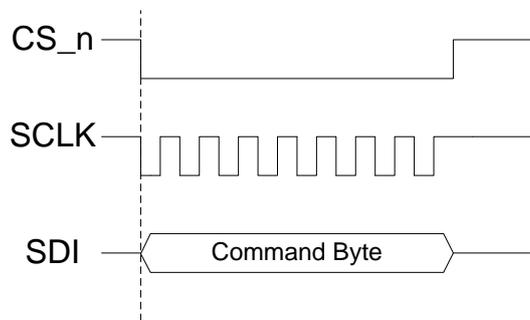
(SPI 接口时序)

➤ 片选控制通信:

■ 控制指令通信:

控制指令通信为 8 位的指令字节，共有 8 个 SCLK 周期。

下图为一帧完整的控制指令:



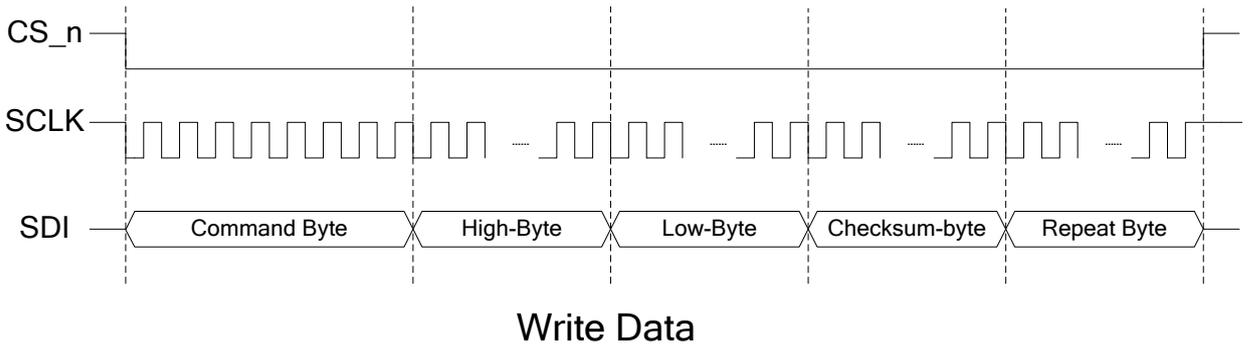
(SPI 控制指令通信时序图)

■ 读写指令通信:

SPI 读写指令通信以 8 位数据字节区分,共包含定长 5 个字节的数据,RY5468 内部可写寄存器定义 8 位/16 位寄存器,写入数据均为 16 位数据(High-Byte 和 Low-Byte),8 位寄存器写入数据的高 8 位补 0 写入。

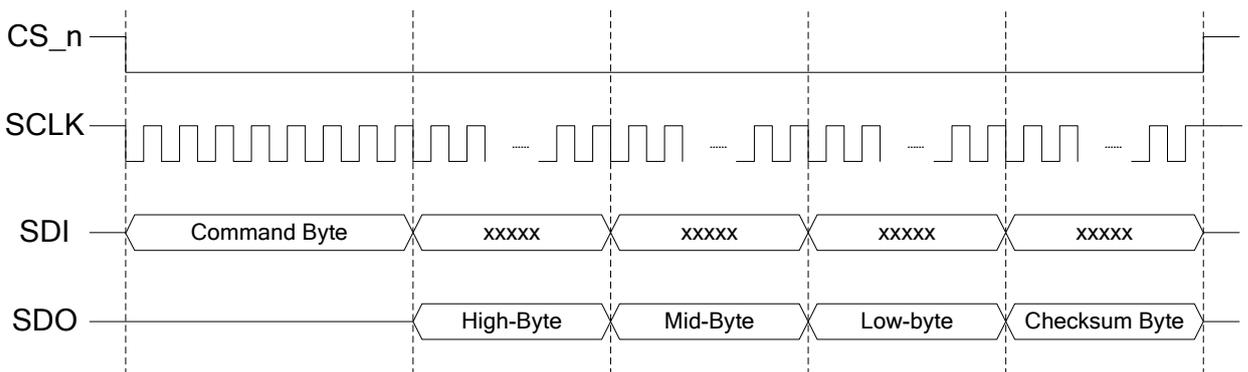
Repeat-Byte 可将 Checksum-Byte 重复发送,该字节仅用读写指令通信内部同步。

下图为一帧完整的数据写入指令:



RY5468 内部只读寄存器定义 16 位/24 位寄存器,读出数据均为 24 位数据 (High-Byte、Mid-Byte 和 Low-Byte),16 位的寄存器,高 8 位读出均为 0,同样,可写 16 位寄存器高 8 位读出均为 0,可写 8 位寄存器高 16 位读出均为 0。即所有读出数据均最低位对齐。

下图为一帧完整的数据读出指令:

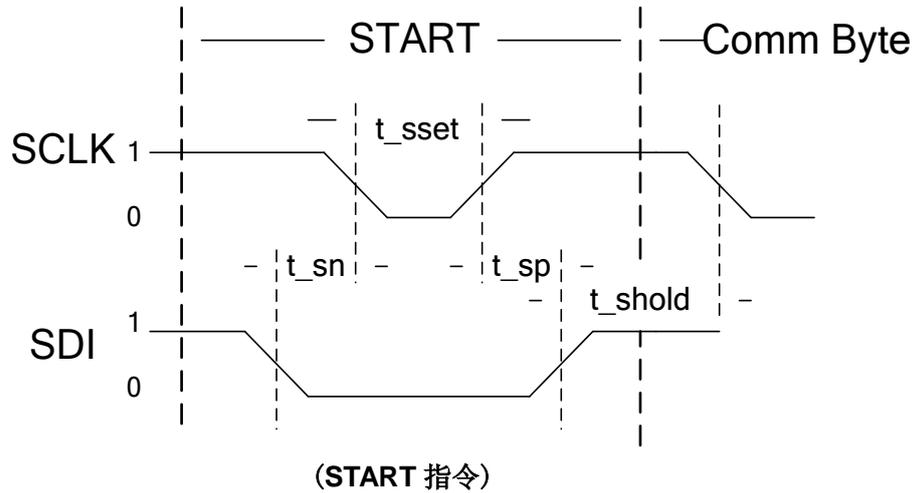


Read Data

(SPI 读写指令通信时序图)

➤ 无片选控制通信:

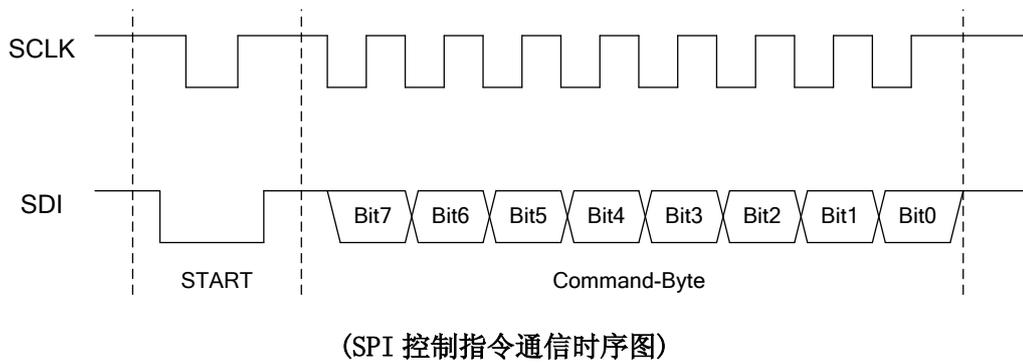
不带片选通信方式时, CS_n 管脚直接接地, 使其常态有效, MCU 在发往 R5468 的每一次指令通信 (包含控制指令和读写指令) 之前, 发送一个 START 指令:



■ 控制指令通信:

无片选控制通信的应用中, 仅在 SPI 控制指令之前发送一个 START 指令, 再发送 8 位的控制指令即可。

下图是一帧完整的控制指令:



■ 读写指令通信:

无片选控制通信应用中的读写指令通信, 与控制指令相同, 仅在指令字节之前发送 START 指令。

3. 寄存器地址定义

地址	Hex	符号	位数	R/W	写保护	描述
0	0x00	STATUS	8	RW	无	状态寄存器
1	0x01	MASK	8	RW	写保护	屏蔽寄存器
2	0x02	CONFIG	16	RW	写保护	配置寄存器
3	0x03	CFDEN	16	RW	写保护	脉冲分频数设置
4	0x04	FAULTLEV	16	RW	写保护	防窃电比较阈值
5	0x05	NOLOAD	16	RW	写保护	防潜动阈值
6	0x06	VGAIN	16	RW	写保护	电压增益
7	0x07	PHC	16	RW	写保护	相位补偿
8	0x08	AIGAIN	16	RW	写保护	A 通道电流增益
9	0x09	AIRMSOS	16	RW	写保护	A 通道电流 Offset
10	0x0a	AWGAIN	16	RW	写保护	A 通道功率增益
11	0x0b	AWOS	16	RW	写保护	A 通道功率 Offset
12	0x0c	BIGAIN	16	RW	写保护	B 通道电流增益
13	0x0d	BIRMSOS	16	RW	写保护	B 通道电流 Offset
14	0x0e	BWGAIN	16	RW	写保护	B 通道功率增益
15	0x0f	BWOS	16	RW	写保护	B 通道功率 Offset
16	0x10	VWAVE	16	R	无	电压瞬态波形
17	0x11	AIWAVE	16	R	无	A 通道电流瞬态波形
18	0x12	BIWAVE	16	R	无	B 通道电流瞬态波形
19	0x13	PERIOD	16	R	无	线电压周期值
20	0x14	VRMS	24	R	无	电压有效值
21	0x15	AIRMS	24	R	无	A 通道电流有效
22	0x16	AWATT	24	R	无	A 通道有功功率
23	0x17	AVA	24	R	无	A 通道视在功率
24	0x18	APFACT	24	R	无	A 通道功率因数
25	0x19	BIRMS	24	R	无	B 通道电流有效值
26	0x1a	BWATT	24	R	无	B 通道有功功率
27	0x1b	BVA	24	R	无	B 通道视在功率
28	0x1c	BPFACT	24	R	无	B 通道功率因数
29	0x1d	ENERGY	24	R	无	电能累计值(读后清零)
30	0x1e	EBACK	24	R	无	电能备份(读后不清零)
31	0x1f	CHECK	24	R	无	Checksum

4. 读写寄存器描述

a) 状态/屏蔽寄存器(STATUS/MASK)

B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1	B0
LVT	REVP	NOLOAD	BCHN	FAULT	EOR	CRDY	DRDY

Default = 0x000001(STATUS), 0x000000(MASK)

LVT	低电源检测。当LVDET 引脚电压下降到相对于AGND引脚的低电压门限值 (LVDTLO) 时被置位，通常此门限值为2.1V。当LVDET引脚电压回升到高电压门限值 (LVDTHI) 后，LSD复位，通常LVDTHI比LVDTLO高约100mv，LVDTHI的电压值不超过2.4V。
REVP	指示负功率(若Tamper功能激活，则指示用于电能计量的电流通道负功率)。
NOLOAD	指示芯片当前正处于防潜动状态。
BCHN	使用B通道计量标志位。
FAULT	指示A/B通道功率差别大于FAULTLEV 设置的比例时该位置‘1’。
EOR	电能累计寄存器溢出指示
CRDY	转换就绪。指示新的转换已准备好，该位通常以输出字速率（频率8KHz ）更新。
DRDY	计量就绪，在“单计算周期”或“连续计算周期”数据采集模式下，该位的置位代表着一个计算周期的结束；校准时，该位的置位表示：校准序列已完成且校准结果已存到寄存器中。

b) 配置寄存器(CONFIG)

B15	B14	B13	B12	B11	B10	B9	B8
--	ZERO	INTOD	SDOOD	ESEL	ZXSEL	VHPF	IHPF
B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1	B0
FAULTEN	BCHS	SF[1]	SF[0]	BIgn [1]	BIgn [0]	AIgn [1]	AIgn [0]

24 bits DEFAULT = 0x000000

ZERO 潜动状态数据输出配置位

0 : 当功率小于潜动功率时, 功率和电流 RMS 显示实际值 (缺省)

1 : 当功率小于潜动功率时, 功率和电流 RMS 显示为 0

INTOD 设置 INT_n 脚输出是否开漏

0 : 推挽方式输出 (缺省)

1 : 开漏方式输出

SDOOD 设置 CS_n 脚输出是否开漏

0 : 推挽方式输出 (缺省)

1 : 开漏方式输出

ESEL 电能累计选择

0 : 有功功率 (缺省)

1 : 视在功率

ZXSEL 过零检测选择

0 : 线电压过零检测输出产生 50Hz 频率 (缺省)

1 : 内部时钟分频产生 50Hz 频率

VHPF,IHPF 电压、电流通道高通滤波器使能 置 '1' 屏蔽。

FAULTEN 防窃电使能。

0 : 关闭 (缺省)

1 : 开启

BCHS 选择计量通道, 用于在屏蔽防窃电功能前提下选择 A/B 功率用于计量。

0 : 通道 A (缺省)

1 : 通道 B

SF[1:0] FOUT 脚输出功能设置端。

00 : REVP 指示 (缺省)

01 : FAULT 指示

10 : 过零检测输出

11 : 低电压指示(低电平表示低电压状态)

AIgn[1:0]/BIgn[1:0] 设置电流通道增益可编程放大器 (PGA) 的增益

00 : Gain = 1 (缺省)

01 : Gain = 2

10 : Gain = 8

11 : Gain = 16

c) 脉冲分频数寄存器(CFDEN)

B15	B14	B13	.....	B2	B1	B0
2^{15}	2^{14}	2^{13}	.....	2^2	2^1	2^0

16 bits DEFAULT = 0x1000

脉冲分频设置寄存器为能量寄存器每累计n后产生一个CF脉冲。若设置0x000800h，则能量累计寄存器中增加2048后产生一个CF脉冲，即能量累计寄存器一个LSB = F_{cf}/n ；n为CFDEN值。

d) 防窃电比较阈值寄存器(TAMPLEV)

B15	B14	B13	.....	B2	B1	B0
0	2^{-1}	2^{-2}	.....	2^{-13}	2^{-14}	2^{-15}

16 bits DEFAULT = 0x0800

防窃电比较点数据值为一个比例值，若TAMP使能开，默认为A通道电流计量，当B通道电流与A通道电流比例大于TAMPLEV设置的值时，STATUS寄存器TAMP标志位置‘1’，并判断B通道功率/电流大于A通道功率/电流时自动切换到B通道计量。

假设设置TAMPLEV=0x1000，Tamper比较源选择功率，则表示

B通道功率 / A通道功率 > 112.5% 或 B通道功率 / A通道功率 < 87.5% 时 Status 寄存器中的 Tamper 位置 ‘1’，且当 B通道功率 / A通道功率 > 112.5% 时自动切换到 B通道功率计量，B通道功率 / A通道功率 < 87.5% 时仍以 A通道功率计量。

e) A/B 通道相位补偿(PHC)

B15	B14	B13	B12	B11	B10	B9	B8
+128	-64	-32	-16	-8	-4	-2	-1
B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1	B0
+128	-64	-32	-16	-8	-4	-2	-1

16 bits DEFAULT = 0x0000

PHC[15:8] : B 通道电流相位校准寄存器

PHC[7:0] : A 通道电流相位校准寄存器

相位补偿寄存器用于电压通道和两路电流通道相位补偿；由于电流采样采用互感器等元件会产生延迟，且各种互感器产生的相位延迟不同。所以计量芯片可提供相位补偿，保证在各种负载下均准确计量。

ADC采用 1.024MHz的采样频率，最小调节量为 0.976525us ，在 50Hz情况下调节相位 0.0176°；上表中A_{Ipc}/ B_{Ipc}每一位设置不同的调整量，每一位数字表示 0.0176°的倍数，符号 + 表示滞后，- 表示超前。如：

Bit3 = 1 : -8 表示电流通道信号相位超前 8*0.0176°=0.140625°。

Bit7 = 1 : +128 表示电流通道信号相位滞后 128*0.0176° = 2. 2528°

AIPC/ BIPC调整范围从-2.2528° ~ +2.22528°

校表方法：

假设 50Hz 校验台，100%I_b 点，PF=0.5L 校准相位。功率误差为+0.1%，设 U 和 I 相位误差为 θ，

$$60^\circ + \theta = (0.5*(1+0.001)\cos^{-1}) = 59.967^\circ$$

$$\theta = -0.033^\circ \approx -2*0.0176^\circ$$

表示实际电流通道相位超前于电压通道相位 0.033°，补偿量为滞后 0.033° 即相应于 2*0.0176°=+128 + -126。寄存器设置为 Bit7 + Bit5 + Bit4 + Bit3 + Bit2 + Bit1= +128 - 64 - 32 - 16 - 8 - 4 - 2 = +2 即赋值为：0x0000fe。

假设 50Hz 校验台，100%I_b 点，PF=0.5L 校准相位。功率误差为-0.1%，设 U 和 I 相位误差为 θ，

$$60^\circ + \theta = (0.5*(1- 0.001)\cos^{-1}) = 60.033^\circ$$

$$\theta = 0.033^\circ \approx 2*0.0176^\circ$$

表示实际电流通道相位滞后于电压通道相位 0.033°，补偿量为超前 0.033° 即相应于-2*0.0176°= -2。寄存器设置为 Bit1= -2 即赋值为：0x000002。

f) 电压、A/B 通道电流增益(VGAIN/AIGAIN/BIGAIN)

B15	B14	B13	.....	B2	B1	B0
2^0	2^{-1}	2^{-2}	.....	2^{-13}	2^{-14}	2^{-15}

16 bits DEFAULT = 0x8000

增益调整寄存器的范围为 **0~200%**,缺省值为 **100%**.

g) A/B 通道有功功率增益(AWGAIN/BWGAIN)

B15	B14	B13	.....	B2	B1	B0
2^0	2^{-1}	2^{-2}	.....	2^{-13}	2^{-14}	2^{-15}

16 bits DEFAULT = 0x8000

增益调整寄存器的范围为 **0~200%**,缺省值为 **100%**.

h) A/B 通道有功功率 Offset(AWOS/BWOS)

B15	B14	B13	.....	B2	B1	B0
Sign	2^{14}	2^{13}	.....	2^2	2^1	2^0

16 bits DEFAULT = 0x0000

补偿寄存器的范围为 **(-32768~+32767)** 单位为 **24 位功率寄存器 LSB**, 最高位为符号位, 补偿量示例如下:

数据	0x7FFF	...	0x0001	0x0000	0xFFFF	...	0x8000
补偿(%)	+32767	...	1	0	-1	...	-32768

补偿系数计算公式如下:

Sign = 0 , Result = AWOS/BWOS

Sign = 1 , Result = AWOS/BWOS - 0x10000

i) A/B 通道电流有效值 Offset(AIRMSOS/BIRMSOS)

B15	B14	B13	.....	B2	B1	B0
Sign	2^{14}	2^{13}	.....	2^2	2^1	2^0

16 bits DEFAULT = 0x0000

补偿寄存器的范围为 **(-32768~+32767)** 单位为 **24 位功率寄存器 LSB**, 最高位为符号位, 补偿量示例如下:

数据	0x7FFF	...	0x0001	0x0000	0xFFFF	...	0x8000
补偿(%)	+32767	...	1	0	-1	...	-32768

补偿系数计算公式如下:

Sign = 0 , Result = AWOS/BWOS

Sign = 1 , Result = AWOS/BWOS - 0x10000

j) 防潜动阈值(NOLOAD)

B15	B14	B13	.....	B2	B1	B0
2^{15}	2^{14}	2^{13}	.....	2^2	2^1	2^0

16 bits DEFAULT = 0x0000

防潜动阈值为 CONFIG 寄存器中选择的有功功率/视在功率计量时，防潜动阈值的设置，该值参考 AWATT、BWATT 等选择的通道和有功/视在功率计量设定潜动值。

假设选择A通道有功计量，且 I_b 点 AWATT = 0x010000，设定防潜动阈值为 $0.15\%I_b$ ，则设置NOLOAD = 0x000062。

5. 只读寄存器描述

a) 电压、A/B 通道电流瞬态波形(VWAVE/AIWAVE/BIWAVE)

B15	B14	B13	.....	B2	B1	B0
Sign	2^{22}	2^{21}	.....	2^{10}	2^9	2^8

电压、A/B 电流通道波形寄存器以内部 8kHz 的采样速率刷新数据，刷新时序与 STATUS 的 CRDY 同步，用于高速读取瞬态波形，外部 SPI 接口可以以高于 384kHz 的频率高速采样瞬态波形，用于高性能 CPU 做谐波分析。该瞬态波形也可以作为现场录波数据源，对电网电能质量分析有很大帮助。以 ADC 满量程计算的数据格式如下：

数据	0x7FFF	...	0x0001	0x0000	0xFFFF	...	0x8000
%	100	...	1.192e-5	0	-1.192e-5	...	-100

b) A/B 通道有功功率(AWATT/BWATT)

B23	B22	B21	.....	B2	B1	B0
Sign	0	2^{21}	.....	2^2	2^1	2^0

A/B 通道有功功率寄存器为 A/B 通道有功功率的平均值。以 ADC 满量程计算的数据格式如下：

数据	0x3FFFFFF	...	0x000001	0x000000	0xFFFFFFFF	...	0xC00000
%	100	...	1.192e-5	0	-1.192e-5	...	-100

c) A/B 通道视在功率(AVA/BVA)

B23	B22	B21	.....	B2	B1	B0
0	0	2^{21}	.....	2^2	2^1	2^0

A/B 通道有功功率寄存器为 A/B 通道视在功率的平均值。以 ADC 满量程计算的数据格式如下：

数据	0x3FFFFFF	...	0x000001	0x000000	0xFFFFFFFF	...	0xC00000
%	100	...	1.192e-5	0	-1.192e-5	...	-100

d) 电压、A/B 电流通道有效值(VRMS/AIRMS/BIRMS)

B23	B22	B21	.....	B2	B1	B0
0	2^{22}	2^{21}	.....	2^2	2^1	2^0

电压、A/B 电流通道有效值寄存器每 160ms 一次数据，以 ADC 满量程计算的数据格式如下：

数据	0x5A7EF9	...	0x000001	0x000000	0xFFFFFFFF	...	0xA58106
%	100	...	1.192e-5	0	-1.192e-5	...	-100

e) 电网电压周期(PERIOD)

B23~B15	B14	B13	.....	B2	B1	B0
0	2^{15}	2^{14}	.....	2^3	2^2	2^1

电网电压周期寄存器，以 1.024MHz 频率采集电网电压周期，每一个 LSB 统计时间为 9.766ns，假设电网频率为 50Hz，即周期为 20mS，则该寄存器读书为 0x5000。

f) A/B 通道功率因数(APFACT/BPFACT)

B23	B22	B21	.....	B2	B1	B0
2^0	2^{-1}	2^{-2}	.....	2^{-21}	2^{-22}	2^{-23}

A/B 通道功率因数寄存器为 A/B 通道功率因数的平均值。数据格式如下：

数据	0x7FFFFFFF	...	0x000001	0x000000
%	100	...	1.192e-5	0

g) 电能累计值(ENERGY)

B23	B22	B21	.....	B2	B1	B0
2^{24}	2^{23}	2^{22}	.....	2^3	2^2	2^1

电能累计寄存器每一个 CF 脉冲即累计加一该寄存器 LSB = 1/imp 度，在该寄存器完成一次读取后该寄存器立即清零。当该寄存器溢出时，在 STATUS 寄存器 EOR 标志位为高电平。

h) 电能备份值(EBACK)

B23	B22	B21	.....	B2	B1	B0
2^{24}	2^{23}	2^{22}	.....	2^3	2^2	2^1

电能备份寄存器在读取一次 ENERGY 寄存器时，将当前电能值存入该寄存器，以便由于通信过程的干扰或其他异常导致数据丢失时读取上一次的电能值，该寄存器读取不清零，在每一次 ENERGY 寄存器读取操作时刷新。

i) 校验和(CHECKSUM)

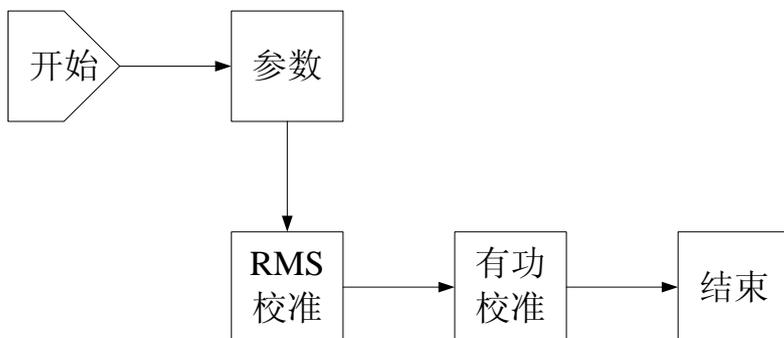
B23	B22	B21	.....	B2	B1	B0
Data	Data	Data	.....	Data	Data	Data

校验和寄存器是内部所有读写寄存器配置完成后的校验和，计算方法：以地址为序，从 0x00 地址数据向上累加，并在完成一次累加后结果值做自身循环左移。如此设计，大大避免逐个字节累加过程中出现的两个或多个寄存器相同位数据变化导致结果相同的盲点，使每一个寄存器的每一位发生变化都尽量影响到结果值更多位数。

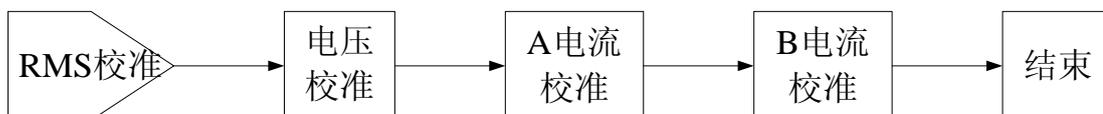
(注: 0x00 地址为 STATUS 状态寄存器, 该寄存器在做 Checksum 时数据为 0x00.)

8 校表流程

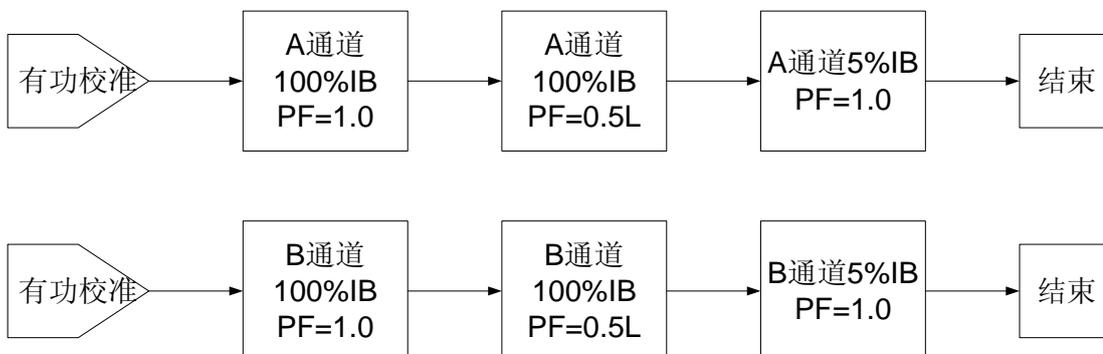
1. 总校表流程



2. 有效值校准流程



3. 有功功率校准流程



9 封装外形

