

# BL0971

## 单相交/直流电能计量芯片

### 数据手册

## V1.00

声明：本数据手册中涉及的指标参数、文字描述、图表等，可能会更改及版本更新，恕不另行通知，请及时联系上海贝岭股份有限公司（以下简称贝岭）获得最新版本。贝岭不对理解上可能存在差异或由此产生的错误负责，如需确认任何描述的准确性，请联系贝岭应用支持部门。

## 目录

1. 产品简述 .....	6
2. 基本特征 .....	6
2.1 主要特点.....	6
2.2 系统框图.....	7
2.3 管脚排列（QFN20 4*4） .....	7
2.4 性能指标.....	8
2.4.1 电参数性能指标.....	8
2.4.2 极限范围.....	9
3. 工作原理 .....	11
3.1 电流电压波形产生原理.....	11
3.1.1 PGA 增益调整 .....	11
3.1.2 通道偏置校正.....	11
3.1.3 通道增益校正.....	12
3.1.4 电流电压波形输出.....	12
3.2 有功功率计算原理.....	14
3.2.1 有功波形的选择.....	14
3.2.2 有功功率输出.....	14
3.2.3 有功功率校准.....	14
3.2.4 相位补偿.....	15
3.2.5 有功功率的防潜动.....	16
3.2.6 有功功率小信号补偿.....	16
3.3 有功能量计量原理.....	16
3.3.1 有功能量输出.....	17
3.3.2 有功能量输出选择.....	17
3.4 电流电压有效值计算原理.....	18
3.4.1 有效值输出.....	18
3.4.2 有效值输入信号的设置.....	19
3.4.3 有效值刷新率的设置.....	19
3.4.4 电流电压有效值校准.....	19
3.4.5 有效值的防潜动.....	20

3.4.6	快速有效值检测原理.....	20
3.4.7	快速有效值输出.....	21
3.5	电参数计量.....	23
3.5.1	线频率计量.....	23
3.5.2	相角计算.....	23
3.5.3	功率符号位.....	23
3.6	故障检测.....	24
3.6.1	过零检测.....	24
3.6.2	峰值超限.....	24
3.6.3	线电压跌落.....	25
3.6.4	过零超时.....	26
3.6.5	电源供电指示.....	27
4.	内部寄存器.....	28
4.1	电参量寄存器（只读）.....	28
4.2	用户操作寄存器.....	29
4.3	校准寄存器.....	30
4.4	电参数寄存器详细说明.....	33
4.4.1	波形寄存器.....	33
4.4.2	有效值寄存器.....	33
4.4.3	有功功率寄存器.....	34
4.4.4	无功功率寄存器.....	34
4.4.5	直流功率寄存器.....	34
4.4.6	视在功率寄存器.....	35
4.4.7	功率因数寄存器.....	35
4.4.8	能量寄存器.....	35
4.4.9	能量脉冲计数寄存器.....	35
4.4.10	功率符号位寄存器.....	36
4.4.11	峰值寄存器.....	36
4.4.12	线电压频率寄存器.....	36
4.4.13	电压电流夹角寄存器.....	36
4.4.14	状态寄存器.....	37

4.5	用户操作寄存器详细说明.....	37
4.5.1	用户写保护设置寄存器.....	37
4.5.2	软复位寄存器.....	37
4.5.3	输出模式寄存器.....	38
4.5.4	用户模式选择寄存器.....	38
4.5.5	中断屏蔽寄存器.....	39
4.5.6	读后清零设置寄存器.....	40
4.5.7	ADC 使能控制 .....	40
4.6	校准寄存器详细说明.....	40
4.6.1	通道 PGA 增益调整.....	40
4.6.2	相位校正相关寄存器.....	41
4.6.3	通道偏置调整.....	42
4.6.4	通道增益调整.....	42
4.6.5	有效值偏置校正.....	43
4.6.6	有效值增益调整.....	43
4.6.7	功率偏置校正.....	43
4.6.8	功率增益调整.....	44
4.6.9	防潜动阈值设置.....	44
4.6.10	CF 缩放比例设置.....	45
4.7	故障监测相关设置.....	46
5.	通讯接口 .....	46
5.1	SPI.....	46
5.1.1	概述.....	46
5.1.2	工作模式.....	46
5.1.3	帧结构.....	47
5.1.4	读出操作时序.....	47
5.1.5	写入操作时序.....	48
5.2	UART.....	49
5.2.1	概述.....	49
5.2.2	每个字节格式.....	49
5.2.3	读取时序.....	49

---

5.2.4	写入时序.....	50
5.2.5	UART 接口的保护机制.....	50
6.	封装信息.....	51
7.	版本信息.....	52

## 1. 产品简述

BL0971 是一颗内置时钟/外接晶振的单相交/直流电能计量芯片。可用于交/直流断路器、交/直流照明能耗监控、交/直流电能表等产品。

BL0971 集成了两路高精度 Sigma-Delta ADC，可同时测量 1 路电流、1 路电压。

BL0971 能够测量电流、电压有效值、有功功率、无功功率、有功电能、无功电能等参数，可输出快速电流有效值，电能质量参数（过流、过压，过零超时、线电压跌落等）检测，以及波形输出等功能。通过 SPI/UART 接口输出数据，满足交/直流计量、检测、故障监控时高速率的数据传送需要。

BL0971 对于输入波形，也可以通过选择不同滤波器，来获得全波、基波或直流电参数。

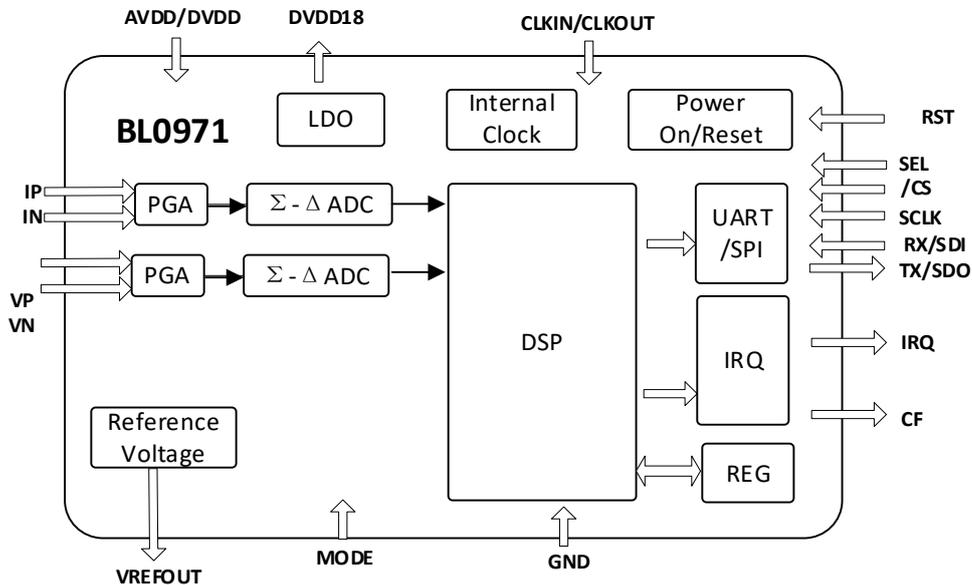
## 2. 基本特征

### 2.1 主要特点

- 1U1I 模式，1 路电流，1 路电压测量；2I 模式，2 路电流测量；
- 高精度，在输入动态范围（5000: 1）内，交流有功电能非线性测量误差小于 0.1%
- 交流电压和电流有效值，测量动态范围（2500: 1）内，有效值非线性误差小于 0.1%
- 对于输入波形，可以通过选择不同滤波器，来获得全波、基波或直流的有效值及功率
- 可选直流信号测量，输入范围 2000: 1，测量误差 $\leq \pm 1\%$
- 内置波形寄存器，可以用于波形分析
- 内置有功、无功、能量、电流\电压有效值寄存器
- 批次出厂增益误差小于 1%，外围元件满足一定条件下可以免校准
- SPI/UART 通讯
- 防潜动设计，确保无电流时噪声切除
- 电源掉电监测，VDD 低于 2.7V 时，芯片复位
- 内置基准参考电压源
- 内置振荡电路，时钟约 4MHz，支持内置时钟或外接晶振
- 单工作电源 3.3V，低功耗 15mW（典型值）
- QFN20 封装

备注：输入动态范围内的误差是指整机校准后的精度

## 2.2 系统框图



## 2.3 管脚排列 (QFN20 4\*4)

No	管脚功能	I/O	管脚说明
1	SCLK	I	SPI 通讯时钟/UART 模式时速率选择
2	SDI/RX	I	SPI/UART 通信管脚，用于数据接收
3	SDO/TX	O	SPI/UART 通信管脚，用于数据发送
4	MODE	I	内置时钟/外接晶振选择，悬空为内置时钟，接高电平为外置晶振；
5	VDD	I	工作电源 3.3V 输入
6	VREF	I/O	基准电压输入输出端，外接 0.1uF 滤波电容
7,8	IN,IP	I	电流通道信号输入，增益 x8~x32 可调。每对管脚的最大差分电压为 ±175mV pp。
9,10	VN,VP	I	电压通道信号输入，增益 x8~x32 可调。每对管脚的最大差分电压 ±175mV pp
11	AGND	I	模拟地
12	/RST	I	复位脚，低电平有效

13	CLKIN	I	外置晶振管脚，外接 4MHz 晶振；如使用内置时钟，则悬空；
14	CLKOUT	O	
15	VPP	I	NC
16	SEL	I	通信模式选择，SPI/UART 选择，悬空为 UART，高电平为 SPI
17	DGND	I	数字地
18	/IRQ	O	中断输出
19	CF	O	电能脉冲输出
20	/CS	I	SPI 片选信号脚/UART 模式时速率选择

## 2.4 性能指标

### 2.4.1 电参数性能指标

Parameter	Symbol	Test Condition	Min	Typ	Max	Unit
有功功率测量误差	WATTERR	5000: 1 input DR		0.1		%
通道间相角引起测量误差 (PF=0.8 容性)	PF08CERR	相位超前 37°		0.1		%
(PF=0.5 感性)	PF05LERR	相位滞后 60°		0.1		%
AC 电源抑制 (输出频率幅度变化)	ACPSRR	电流通道输入脚		0.01		%
DC 电源抑制 (输出频率幅度变化)	DCPSRR	IP\IN@100mV、电压通道输入脚 VP\VN=100mV		0.1		%
电压有效值测量精度，相对误差	VRMSERR	2500: 1 input DR		0.1		%
电流有效值测量精度，相对误差	IRMSERR	2500: 1 input DR		0.1		%
模拟输入 输入电平(峰值)		差分输入			1400	mV
输入阻抗				37		kΩ

带宽(-3dB)				14		kHz
增益误差		外部 1.2 基准电压		0.5		%
相间增益匹配误差		外部 1.2 基准电压		0.3		%
内部电压基准	Vref			1.0975		V
基准偏差	VrefERR			5		mV
温度系数	TempCoef			20		ppm/°C
逻辑输入						
SDI、SCLK、/CS						
输入高电平		VDD=3.3V±2.5%	2.6			V
输入低电平		VDD=3.3V±2.5%			0.8	V
逻辑输出						
SDO、DO1、DO2、CF、/IRQ						
输出高电平		VDD=3.3V±2.5%	2.6			V
输出低电平		VDD=3.3V±2.5%			1	V
电源						
VDD	VVDD		3	3.3	3.6	V
IDD	IVDD	VDD=3.3		4	6	mA

### 2.4.2 极限范围

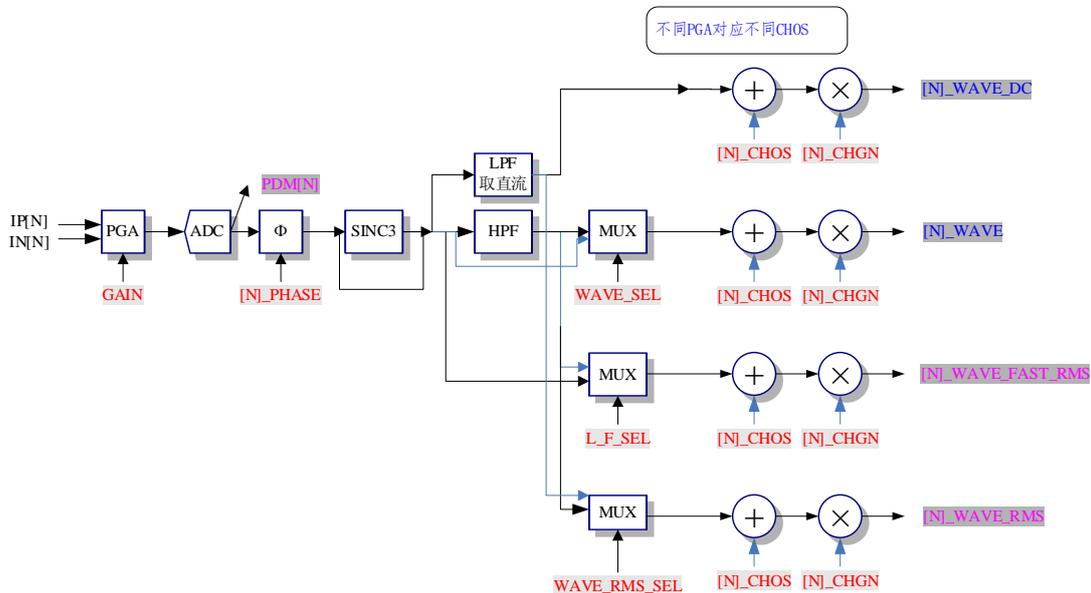
(T = 25 °C)

项目	符号	极值	单位
电源电压 VDD	VDD	-0.3 ~ +4	V
模拟输入电压 (相对于 AGND)	IN、IP、VP、VN	-1 ~ +VDD	V
模拟输出电压 (相对于 AGND)	Vref	-0.3 ~ +VDD	V
数字输入电压 (相对于 DGND)	/SDI、SCLK、/CS	-0.3 ~ VDD+0.3	V

数字输出电压（相对于 DGND）	CF、SDO、/IRQ	-0.3 ~ VDD+0.3	V
工作温度	Topr	-40 ~ +85	°C
贮藏温度	Tstr	-55 ~ +150	°C
功耗（QFN20）	P	200	mW

### 3. 工作原理

#### 3.1 电流电压波形产生原理



框图以电流通道为例进行说明，如上图，由两路相同结构的高精度的 ADC，采用双端差分信号输入：电流通道和电压通道分别输入的正负电压信号为 IP、IN 和 VP、VN。

在通道中，输入信号通过模拟模块放大器（PGA）和高精度的模数转换（ADC）转换后的 PDM 码传输给数字模块。数字模块经过相位校准、降采样滤波器（SINC3）、可选高通滤波器（HPF）或取直流低通滤波器（LPF）后，通过增益及偏置校正等模块，得到需要的电流波形数据和电压波形数据（I\_WAVE，V\_WAVE）。

##### 3.1.1 PGA 增益调整

电流和电压通道的 PGA 增益可调，通道 PGA 增益调整寄存器 GAIN 的数据格式如下：（每 4 位控制一个通道，0010=8；0011=16；0110=24；0111=32）。

地址	名称	位宽	默认值	描述
51	GAIN	12	0x000	通道 PGA 增益调整寄存器： [3: 0]: 电压通道；[7: 4]: 保留；[11:8]: 电流 A 通道

##### 3.1.2 通道偏置校正

包含 2 个 16 位的通道偏置校准寄存器 CHOS 如下，缺省值为 0x0000。

它们以 2 的补码形式的数据来分别消除电流通道和电压通道模数转换带来的偏差。这里的偏差可能是源于输入以及模数转换电路本身产生的 offset。偏差校正可以使在无负载情况下波形 offset 为 0。

地址	名称	位宽	默认值	描述
5A	IA_CHOS	16	0x0000	电流通道偏置调整寄存器，补码
5C	V_CHOS	16	0x0000	电压通道偏置调整寄存器，补码

偏置调整校正公式：

$$WAVE = WAVE0 + CHOS$$

其中 WAVE0 为通道的测量值，WAVE 为校准后输出值。

### 3.1.3 通道增益校正

包含 2 个 16 位的通道增益校准寄存器 CHGN 如下，缺省值为 0x0000。

它们以 2 的补码形式的数据来调整电流通道和电压通道模数转换带来的增益误差。这里的误差可能是源于输入以及模数转换电路本身产生。增益校正可以使在正负 50%范围内调整。

地址	名称	位宽	默认值	描述
69	IA_CHGN	16	0x0000	电流 A 通道增益调整寄存器，补码
6B	V_CHGN	16	0x0000	电压通道增益调整寄存器，补码

通道增益校正公式：

$$WAVE = WAVE0 * \left(1 + \frac{CHGN}{2^{16}}\right)$$

其中 WAVE0 为通道的测量值，WAVE 为校准后输出值。

### 3.1.4 电流电压波形输出

可采集当前负载电流和电压波形数据，采样电流和电压以约 15ksps 的速率更新，每周波可采样 300 点。每个采样数据为 24bit 有符号数，并分别存入波形寄存器(I\_WAVE, V\_WAVE)。

地址	名称	位宽	默认值	描述
1	I_WAVE	24	0x000000	电流通道波形寄存器
3	V_WAVE	24	0x000000	电压通道波形寄存器

4	I_WAVE_DC	24	0x000000	电流直流波形寄存器
6	V_WAVE_DC	24	0x000000	电压直流波形寄存器

电流波形输出选择可通过用户模式寄存器 MODE[10]进行设置。电压波形输出为正常的波形（做有效值计算的波形）。

0x44	MODE1	工作模式寄存器	
No.	name	default value	description
[10]	WAVE_REG_SEL	1'b0	电流 WAVE 波形寄存器输出选择： 默认 0 选择正常电流通道的波形， 为 1 选择快速测量通道的波形输出

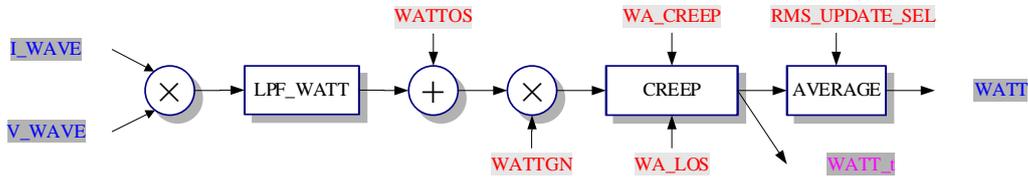
正常的波形（做有效值计算的波形）分交流、直流、全波。通过 HPF 为交流测量模式，输出交流波形。通过取直 LPF 为直流测量模式，输出直流波形。SINC 后为全波波形，可通过用户模式寄存器 MODE 进行设置。

0x44	MODE	工作模式寄存器	
No.	name	default value	description
[9:4]	WAVE_RMS_SEL	2'b00	有效值波形选择：00-HPF，10-直流，01-SINC，11-HPF [9:8]: 电压通道；[7:6]: 保留； [5:4]: 电流通道

快速测量通道的波形（做快速有效值计算的波形）分全波、交流全波。不通过 HPF 输出全波波形。通过 HPF 为交流测量模式，输出交流全波波形。可通过用户模式寄存器 MODE[0]进行设置。

0x44	MODE1	工作模式寄存器	
No.	name	default value	description
[0]	L_F_SEL	1'b0	快速测量选择通过高通，默认为 0-全波，1-交流全波

### 3.2 有功功率计算原理



电流和电压波形通过数字乘法，然后依顺序经过低通滤波器、增益和偏差校准、防潜动判断及平均处理后可以获得功率信号。

#### 3.2.1 有功波形的选择

做功率计算的波形可通过用户模式寄存器 MODE 进行设置。注意：选择计算直流功率时，电流电压都选择直流波形进行功率计算。

0x44	MODE	工作模式寄存器	
No.	name	default value	description
[3:1]	WAVE_SEL	1'b0	有功波形选择：0-交流，1-直流

#### 3.2.2 有功功率输出

有功功率寄存器为 24 位有符号数，补码。Bit[23]为符号位，表示正功/负功。

地址	名称	位宽	默认值	描述
10	WATT	24	0x000000	有功功率，补码

#### 3.2.3 有功功率校准

16 位的有功功率偏置校正寄存器 WATTOS 和 16 位的有功功率增益校正寄存器 WATTGN，缺省值为 0x0000。

WATTOS 用来消除有功功率计算中出现的直流偏差，WATTGN 用来消除有功功率计算中出现的增益偏差。这里的偏差可能是源于功率计算中 PCB 板上以及集成电路本身产生的两通道间的串扰，也有可能是 ADC 通道本身的增益偏差。

偏差校正可以在无负载情况下有功功率寄存器中的值接近 0。

地址	名称	位宽	默认值	描述
76	WATTGN	16	0x0000	有功功率增益调整，补码
74	WATTOS	16	0x0000	有功功率偏置调整，补码

有功功率的校正结果：

$$WATT = WATT0 * (1 + \frac{WATTGN}{2^{16}})$$

其中 WATT 是校正之后的有功功率，WATT0 是校正之前的有功功率。

### 3.2.4 相位补偿

在 ADC 输出位置，提供了对微小相位误差进行数字校准的方法。它能将一个小的时间延时或超前引入信号处理电路以便对小的相位误差进行补偿。由于这种补偿要及时，所以这种方法只适用于 <math>0.6^\circ</math> 范围的小相位误差。利用时移技术来修正大的相位误差会在高次谐波中引入显著的相位误差。

电流和电压通道的相位补偿可调，相位校准寄存器 PHASE 的数据格式如下（每 8 位校准一个通道，[7]保留，[6: 0]的最小调整延时时间 250ns，对应 0.0045 度/1LSB，最大可调整 ±0.5715 度。）：

地址	名称	位宽	默认值	描述
52	IRMS_P1	16	0x0100	角差分段点定义 P1，满足 $IRMS_{min} < P1 < P2 < IRMS_{max}$
53	IRMS_P2	16	0x2000	角差分段点定义 P2，满足 $IRMS_{min} < P1 < P2 < IRMS_{max}$
54	I_PHCAL1	16	0x0000	电流 A 通道角差校正寄存器 1，当 $IRMS_{min} <$ 输入电流有效值 $< P1$ 时，[6:0]用于校正的电流通道相位。当 $P1 <$ 输入电流有效值 $< P2$ 时，[14:8]用于校正的电流通道相位，
55	I_PHCAL2	8	0x00	电流 A 通道角差校正寄存器 2，当 $P2 <$ 输入电流有效值 $< IRMS_{max}$ 时，[6:0]用于校正的电流通道相位
58	V_PHCAL	8	0x00	电压通道角差校正寄存器

### 3.2.5 有功功率的防潜动

内置具有专利的功率防潜功能模块，保证无电流输入的时候功率输出为 0。

有功防潜动阈值寄存器（WA\_CREEP），为 12bit 无符号数，缺省为 0x04C。该值\*2 后与输入有功功率信号绝对值比较，当输入有功功率信号绝对值小于这个值时，输出有功功率设为零。这可以在无负载情况下，即使有小的噪声信号，输出到有功功率寄存器中的值为 0。

地址	名称	位宽	默认值	描述
88	WA_CREEP	12	0x04C	有功防潜动功率阈值

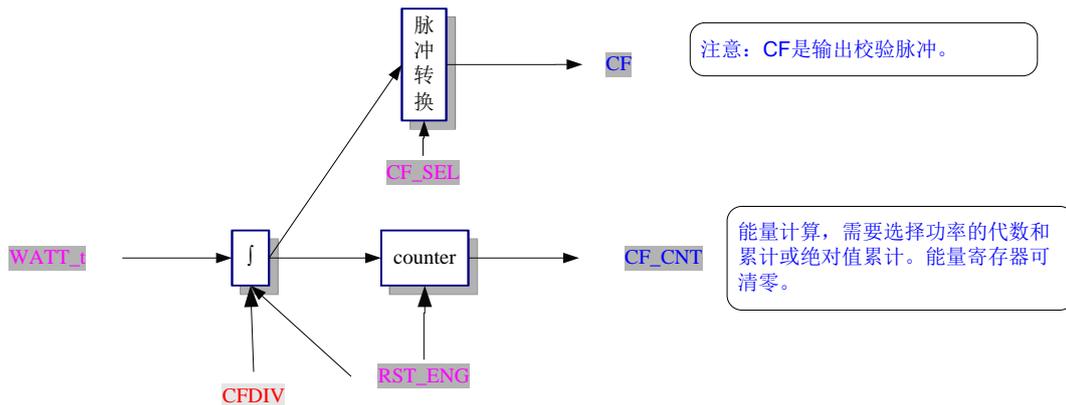
当芯片处于防潜状态时，低于阈值的功率不参与能量累计。

### 3.2.6 有功功率小信号补偿

对于有功的计算，为了减小在小信号段的噪声误差，可以通过小信号补偿寄存器来调节小信号段的非线性误差。有功小信号补偿寄存器（WA\_LOS），为 12bit 补码，缺省为 0x000。

地址	名称	位宽	默认值	描述
84	WA_LOS	12	0x000	有功小信号补偿，补码

## 3.3 有功能量计量原理



有功功率通过一段时间的积分，可获得这段时间有功能量，并进一步把能量转化成对应频率校验脉冲 CF，用电多，CF 频率就快，用电少，CF 频率就慢。

### 3.3.1 有功能量输出

对 CF 脉冲的计数可以获得能量（用电量），存放在电能脉冲累计寄存器 X\_CF\_CNT。

地址	名称	位宽	默认值	描述
26	CF_CNT	24	0x000000	有功电能脉冲计数，无符号

有功能量寄存器用于存放连续累积的有功电能，

地址	名称	位宽	默认值	描述
1C	WATTHR	24	0x000000	有功电能累积，无符号

### 3.3.2 有功能量输出选择

代表电能信息的 CF 脉冲输出可通过 MODE\_OUT 来设置。

0x43	MODE_OUT	工作模式寄存器	
No.	name	default value	description
[7:4]	CF_SEL	4'b0000	通道 CF 输出选择：0000-默认关闭 CF； 0001-CF；0010-保留； 0011-CFQ；0100-保留； 0101-CF_DC；0110-保留； 0111-CFS；1000-保留； 1001-保留；1010-保留；

MODE[11](CF\_ADD\_SEL)可用于设置能量如何相加，代数和加或绝对值加。

CF 脉冲的计数结果分别存于相关的脉冲计数寄存器中，也可通过配置 CF 引脚输出校表脉冲，CF 脉冲的周期小于 180ms 时，为 50% 占空比的脉冲，大于等于 180ms 时，高电平固定脉宽 90ms。

#### 有功能量输出比例

能量累计中，可以通过 CF\_DIV 寄存器设置能量累计的快慢，每档 2 倍关系，共 12 档。用于粗调。

地址	名称	位宽	默认值	描述
A2	CFDIV	12	0x010	CF 缩放比例寄存器

以缺省 0x010 为基准脉冲输出，其他设置相对 CFDIV=0x010 时的输出脉冲频率倍率如下：

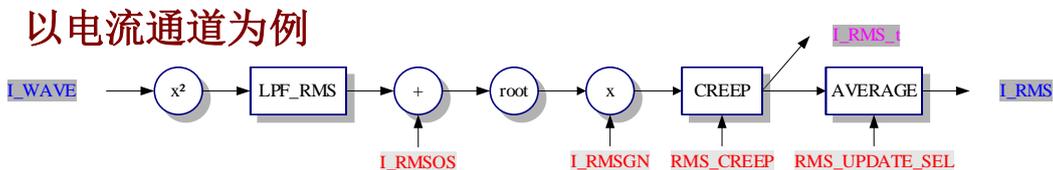
CFDIV	倍率	CFDIV	倍率
0x000	0.03125	0x040	4
0x001	0.0625	0x080	8
0x002	0.125	0x100	16
0x004	0.25	0x200	32
0x008	0.5	0x400	64
0x010	1	0x800	256
0x020	2		

脉冲周期与 CFDIV、WATT 寄存器值的相互关系：

$$t_{CF} = \frac{4194304 * 0.032768 * 32}{CFDIV * WATT}$$

### 3.4 电流电压有效值计算原理

通道的有效值原理，如下图



通道的原始波形，经过平方电路 (X^2)、有效值低通滤波器 (LPF\_RMS)、开根电路 (ROOT)，得到有效值的瞬时值 RMS<sub>t</sub>，再经过平均得到平均值 I\_RMS 和 V\_RMS。

#### 3.4.1 有效值输出

有效值计算结果输出到有效值寄存器，该寄存器是 24 位无符号数。

地址	名称	位宽	默认值	描述
7	I_RMS	24	0x000000	电流通道有效值寄存器，无符号
9	V_RMS	24	0x000000	电压通道有效值寄存器，无符号

当通道处于有效值防潜状态时，该通道的有效值寄存器值切除到零，不更新。

### 3.4.2 有效值输入信号的设置

计算有效值的波形分全波、交流全波、直流。不通过 HPF 输出全波波形。通过 HPF 为交流测量模式，输出交流全波波形。通过取直 LPF 为直流测量模式，输出直流波形。可通过用户模式寄存器 MODE 进行设置。

0x44	MODE	工作模式寄存器	
No.	name	default value	description
[9:4]	WAVE_RMS_SEL	2'b00	有效值波形选择：00-HPF，10-直流，01-SINC，11-HPF [9:8]: 电压通道；[7:6]: 保留； [5:4]: 电流通道

### 3.4.3 有效值刷新率的设置

设置 MODE[14:13]的 RMS\_UPDATE\_SEL，可选择有效值平均刷新时间

0x44	MODE	工作模式寄存器	
No.	name	default value	description
[14:13]	RMS_UPDATE_SEL	2'b00	有效值寄存器更新速度选择， 11-1000ms，00-500ms(默认)，01-250mS， 10-125mS

### 3.4.4 电流电压有效值校准

2 个 24 位的有效值偏置校正寄存器 RMSOS，缺省值为 0x000000，补码。2 个 16 位的有效值增益校正寄存器 RMSGN，缺省值为 0x0000，补码。

它们用来校准有效值计算中出现的偏差。这种偏差可能来源于输入噪声，因为在计算有效值中有一步平方运算，这样可能引入由噪声产生的直流偏置。增益和偏差校正可以使在无负载情况下有效值寄存器中的值接近 0。

地址	名称	位宽	默认值	描述
6C	I_RMSOS	16	0x0000	电流通道有效值偏置调整，补码

6E	V_RMSOS	16	0x0000	电压通道有效值偏置调整，补码
71	I_RMSGN	16	0x0000	电流通道有效值增益调整，补码
73	V_RMSGN	16	0x0000	电压通道有效值增益调整，补码

有效值偏置校准公式：

$$RMS = \sqrt{RMS_0^2 + RMSOS \times 1024}$$

有效值增益校准公式：

$$RMS = RMS0 * (1 + \frac{RMSGN}{2^{16}})$$

这里 RMS0 为通道未进行校正之前有效值，RMS 是通道校正之后的有效值。

其中 RMSGN 的调整范围为±50%。

### 3.4.5 有效值的防潜动

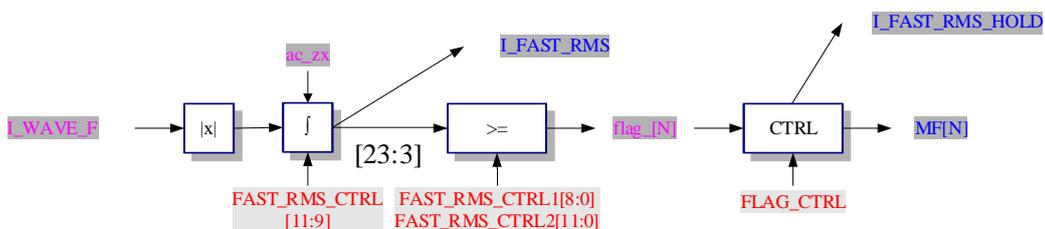
具有专利有效值防潜功能，保证无电流输入的时候有效值输出为 0。

有效值防潜动阈值寄存器（RMS\_CREEP），为 12bit 无符号数，缺省为 0x200。该值\*2 后与输入有效值信号绝对值比较，当输入有效值信号小于这个值时，输出有效值设为零。这可以在无负载情况下，即使有小的噪声信号，输出到有效值寄存器中的值为 0。

地址	名称	位宽	默认值	描述
8A	RMS_CREEP	12	0x200	有效值小信号阈值寄存器

### 3.4.6 快速有效值检测原理

快速有效值计算原理见下图，



电流通道有快速有效值寄存器，可检测半周波或周波有效值。该功能可用于漏电或过流检测。

输入波形通过取绝对值，然后在规定时间内积分，获得快速有效值。该值 I\_FAST\_RMS[23:3] 与预先设定的阈值 FAST\_RMS\_CTRL[20:0]比较，如果超出可以给出标志。

### 3.4.7 快速有效值输出

电流和电压通道的快速有效值输出寄存器如下，该寄存器是 24 位无符号数。

地址	名称	位宽	默认值	描述
A	I_FAST_RMS	24	0x000000	电流通道快速有效值寄存器
C	V_FAST_RMS	24	0x000000	电压通道快速有效值寄存器

#### 快速有效值输入选择

做快速有效值计算的波形分全波、交流全波。不通过 HPF 输出全波波形。通过 HPF 为交流测量模式，输出交流全波波形。可通过用户模式寄存器 MODE[0]进行设置。

0x96	MODE1	工作模式寄存器	
No.	name	default value	description
[0]	L_F_SEL	1'b0	快速测量选择通过高通，默认为 0-没有高通，全波， 1-选择高通，交流全波

#### 快速有效值累计时间和阈值

计算快速有效值，先取绝对值，然后根据设定好的累计时间积分。一般取半周波、周波时间的整数倍。

地址	名称	位宽	默认值	描述
94	I_FAST_RMS_CTRL1	12	0x20F	[11:9]通道快速有效值寄存器刷新时间，可选半周波和 N 周波，默认是周波； [8:0]通道快速有效值阈值[20:12]
95	I_FAST_RMS_CTRL2	12	0xFFFF	通道快速有效值阈值的[11:0]
98	V_FAST_RMS_CTRL1	12	0x20F	[11:9]通道快速有效值寄存器刷新时间，可选半周波和 N 周波，默认是周波； [8:0]通道快速有效值阈值[20:12]
99	V_FAST_RMS_CTRL2	12	0xFFFF	通道快速有效值阈值的[11:0]

由 FAST\_RMS\_CTRL1[11:9]选择累计时间，000-10ms、001-20ms、010-40ms、011-80ms、100-160ms、101-320ms 共六种，默认选择周波累加响应时间 20ms，累加的时间越长跳动越小。

FAST\_RMS\_CTRL1[8:0]||FAST\_RMS\_CTRL2[11:0]用于设置快速有效值超限阈值，一旦快速有效值寄存器值[23:3]超过阈值，输出标志 flag 为 1。标志位联接输出（MF），可以直接将过流输出指示引脚拉高。可配合过流指示控制寄存器使用。

备注：0x98，0x99 寄存器只在两路电流测量模式 2I 才起作用；

电网频率选择

通过 AC\_FREQ\_SEL 寄存器可以区分 50Hz 和 60Hz 的电网应用。

0x44	MODE	工作模式寄存器	
No.	name	default value	description
[15]	AC_FREQ_SEL	1'b0	交流电频率选择： 1-60Hz；0-50Hz，默认选择 50Hz

快速有效值超限数据保存

为了记录快速过载信号，快速有效值超限具有保存功能，需要一定的设置操作才能清除相关寄存器 FAST\_RMS\_HOLD。具体寄存器见下表：

地址	名称	位宽	默认值	描述
39	I_FAST_RMS_HOLD	24	0x000000	电流通道快速有效值寄存器，无符号，保持
3B	IA_FAST_RMS_HOLD	24	0x000000	电压通道快速有效值寄存器，无符号，保持

过流指示

过流指示（MF）可以通过 STATUS\_MF 寄存器指示：

地址	名称	位宽	默认值	描述
3E	STATUS_MF	3	0x00	M 状态，无符号 [0]: 快速电流有效值超过阈值指示； [2]: 快速电压有效值超过阈值指示；(只有在两路电流测量模式 2I 才起作用)

## 3.5 电参数计量

### 3.5.1 线频率计量

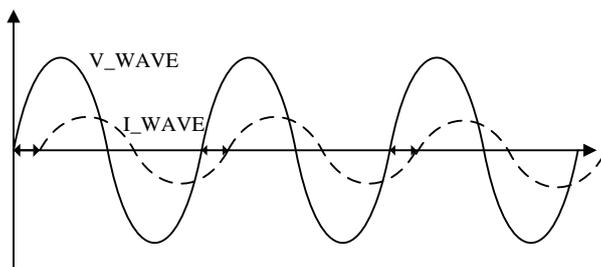
电网频率在电压通道进行测量。

PERIOD 寄存器中记录的对线电压周期的计数，如果输入信号偏离 50Hz/60Hz，对应计数值会有变化。

地址	名称	位宽	默认值	描述
35	PERIOD	20	0x000000	线电压频率/周期寄存器

### 3.5.2 相角计算

相角测量原理，见下图



通过计算电流和电压的正向过零之间的时间差得到相位差，对应时间值更新到寄存器 ANGLE，寄存器是 16 位无符号数。

地址	名称	位宽	默认值	描述
36	A_CORNER	16	0x0000	电流 A 电压波形夹角寄存器
37	B_CORNER	16	0x0000	电流 B 电压波形夹角寄存器

### 3.5.3 功率符号位

对于功率脉冲 CF 输出，有符号位寄存器，指示 CF 的方向。该方向表明从上一个 CF 到当前 CF 脉冲过程中，对应的累计能量的方向（用电或供电）。

地址	名称	位宽	默认值	描述
----	----	----	-----	----

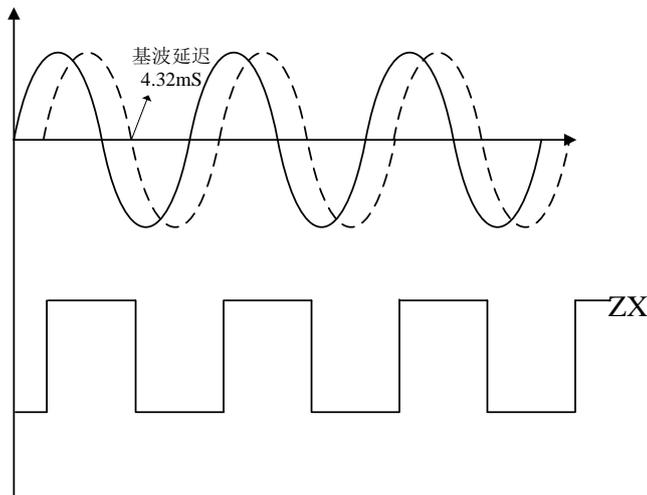
30	SIGN	10	0x000	对应当前电能脉冲计数的符号位，在出 CF 脉冲时刷新。
----	------	----	-------	-----------------------------

### 3.6 故障检测

#### 3.6.1 过零检测

提供电压过零检测，zx 为零表示波形正半周，zx 为 1 表示波形负半周。输出为基波过零信号，经过基波滤波器，与实际输入信号的时延 4.32ms 左右。

输出的过零信号主要辅助在过零点关断继电器，减少继电器黏连现象。



注意：为防止底噪信号或小信号存在的杂散信号带来的不确定性，电流过零阈值为 70000，电压过零阈值为 200000.如果瞬时有有效值比阈值小，无 ZX 信号。

通过/IRQ 管脚配置输出过零信号为/ZX（ZX 取反），

#### 3.6.2 峰值超限

可以设定电流和电压有效值的门限值，由峰值门限寄存器（I\_PKLVL、V\_PKLVL）设定。

地址	名称	位宽	默认值	描述
8C	V_PKLVL	16	0xFFFF	[15:12]: 判断连续半周期数 [11:0]: 电压峰值门限寄存器 V_PKLVL
8D	I_PKLVL	16	0xFFFF	[15:12]: 判断连续半周期数 [11:0]: 电流峰值门限寄存器 I_PKLVL;

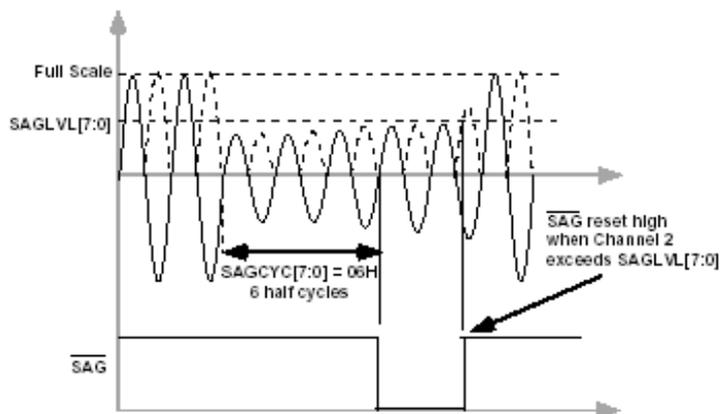
如：当电流快速有效值大于电流峰值门限寄存器（I\_PKLVL）设定的阈值时，给出电流过载指示 PKI，如果中断屏蔽寄存器（MASK）中相应的 PKI 使能位置为逻辑 0，则/IRQ 逻辑输出变为有效低电平。

同样，当电压快速有效值大于电压峰值门限寄存器（V\_PKLVL）设定的阈值时，给出电压过载指示，如果中断屏蔽寄存器（MASK）中相应的 PKV 使能位置为逻辑 0，则/IRQ 逻辑输出变为有效低电平。

0x3F	STATUS		
位置	中断标志	默认值	描述
5	PK_I	0	电流通道峰值超限信号
7	PK_V	0	电压通道峰值超限信号

### 3.6.3 线电压跌落

当线电压有效值低于某一峰值的时间超过一定的半周期数时，给出线电压跌落指示。



如上图所示，当电压有效值小于跌落电压阈值寄存器（SAGLVL）中设定的阈值并且跌落时间超过跌落线周期寄存器（SAGCYC）中的设定时间（图示为超过第 6 个半周期后，SAGCYC[11:0]=06H），线电压跌落事件通过设置中断状态 STATUS 寄存器中的 SAG 标志位来记录下来。

0x3F	STATUS		
位置	中断标志	默认值	描述
3	SAG	0	线电压跌落

如果中断屏蔽寄存器（MASK）中相应的 SAG 使能位置为逻辑 0，则/IRQ 逻辑输出变为有效低电平。

可以设定跌落周期数和跌落电压的门限值，跌落电压阈值寄存器（SAGLVL）可以由用户写入或读出，初始值为 0x100，跌落线周期寄存器（SAGCYC）也可以由用户写入或读出，初始值为 0x04。

地址	名称	位宽	默认值	描述
91	SAGCYC	8	0x04	跌落线周期 SAGCYC，缺省 0x04。
92	SAGLVL	12	0x100	跌落电压阈值寄存器 SAGLVL，电压通道输入连续低于此寄存器值的时间超过 SAGCYC 中的时间，将产生线电压跌落中断，缺省为 0x100，

### 3.6.4 过零超时

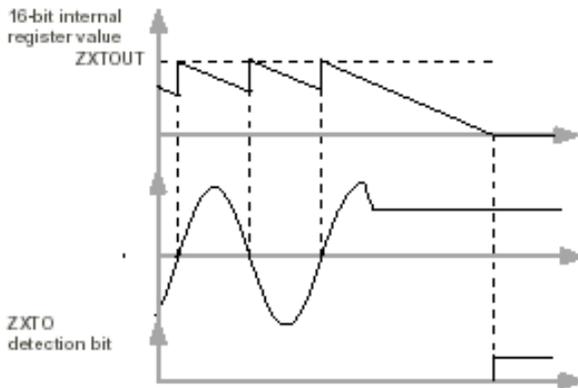
过零检测电路还连接着一个检测过零信号超时的寄存器 ZXTOUT，每当检测电压通道有过零信号时 ZXTOUT 就置为初始值。如果无过零信号时就递减，如果超长时间仍无过零信号输出时，该寄存器中的值会变为 0，这时中断状态寄存器中相应的位 ZXTO 被置 1，如果中断屏蔽寄存器中的对应的使能位 ZXTO 为 0 时，则过零信号超时事件也会反映在中断管脚/IRQ 上。无论中断寄存器中相应的使能位设置有无，中断状态寄存器（MASK）中的 ZXTO 标志位总是在 ZXTOUT 寄存器减为 0 时被设置为有效 1。

0x3F	STATUS		
位置	中断标志	默认值	描述
4	ZXTO	0	过零超时

地址	名称	位宽	默认值	描述
8E	ZXTOUT	16	0xFFFF	过零超时如果在此寄存器表示的时间内没有过零信号，将产生过零超时中断，缺省 FFFFH。

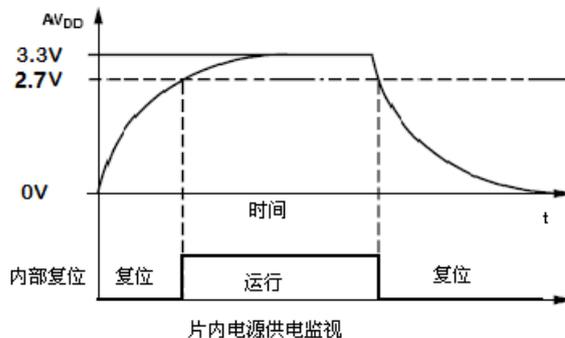
过零超时寄存器 ZXTOUT 可以由用户写入或读出，初始值为 0xFFFF。该寄存器的分辨率为 64us/LSB，这样一个中断的最大延迟时间就被限制为 4.26s。

下图显示了当线电压一直为一个固定直流信号时，检测过零超时的机制：



### 3.6.5 电源供电指示

包含一块片上电源监视电路，能够连续检测模拟电源（VDD）。如果电源电压小于  $2.7V \pm 5\%$ ，则整个电路不被激活（不工作），也就是说当电源电压小于  $2.7V$  时，不进行能量累加。这种做法可以保证设备在电源上电掉电时保持正确的操作。此电源监视电路有滞后及滤波机制，能够在很大程度上消除由于噪声引起的错误触发。一般情况下，电源供电的去耦部分应该保证在 VDD 上的波纹不超过  $3.3V \pm 5\%$ 。



## 4. 内部寄存器

### 4.1 电参量寄存器（只读）

地址	名称	位宽	默认值	描述
1	I_WAVE	24	0x000000	电流波形
3	V_WAVE	24	0x000000	电压波形
4	I_WAVE_DC	24	0x000000	电流直流波形
6	V_WAVE_DC	24	0x000000	电压直流波形
7	I_RMS	24	0x000000	电流有效值
9	V_RMS	24	0x000000	电压有效值
A	I_FAST_RMS	24	0x000000	电流快速有效值
C	V_FAST_RMS	24	0x000000	电压快速有效值
10	WATT	24	0x000000	有功功率，有符号
12	VAR	24	0x000000	无功功率，有符号
14	WATT_DC	24	0x000000	直流功率
16	VA	24	0x000000	视在功率
18	WATT_SUM	24	0x000000	总有功功率（AC+DC），有符号
1A	PF	24	0x000000	功率因子，有符号
1C	WATTHR	24	0x000000	有功能量
1E	VARHR	24	0x000000	无功能量
20	DCHR	24	0x000000	直流能量
22	VAHR	24	0x000000	视在能量，无符号
24	SUMHR	24	0x000000	总有功能量
26	CF_CNT	24	0x000000	有功脉冲计数
28	CFQ_CNT	24	0x000000	无功脉冲计数

2A	CF_DC_CNT	24	0x000000	直流功率脉冲计数
2C	CFS_CNT	24	0x000000	视在脉冲计数
2E	CF_SUM_CNT	24	0x000000	总有功脉冲计数
30	SIGN	10	0x0000	功率符号位寄存器
31	I_PK	24	0x000000	电流波形峰值寄存器
33	V_PK	24	0x000000	电压波形峰值寄存器
35	PERIOD	20	0x000000	线电压频率周期
36	A_CORNER	16	0x0000	电压与电流间夹角
39	I_FAST_RMS_HOLD	24	0x000000	电流 A 快速有效值，保持
3B	V_FAST_RMS_HOLD	24	0x000000	电压快速有效值寄存器，保持
3E	STATUS_MF	3	0x00	M 状态，无符号
3F	STATUS	16	0x000000	中断状态，无符号

## 4.2 用户操作寄存器

地址	名称	位宽	默认值	描述
40	USR_WRPROT	16	0x0000	用户写保护设置，写入 5555H 时，表示可操作用户寄存器对 reg41 到 rega8, regc4
41	SOFT_RESET	16	0x0000	当输入为 5A5A 时，系统复位——只复位数字部分的状态机和寄存器！Checksum 计算 当输入为 AA55 时，用户读写寄存器复位—— Reset: reg40 到 regA8、regc0 到 regcd (除 regc6)
43	MODE_OUT	15	0x0000	输出选择
44	MODE	16	0x0000	用户模式选择
46	MASK	16	0x0000	中断屏蔽，控制一个中断是否产生一个有效的 IRQ 输出，详见“中断屏蔽寄存器”说明
47	RST_CF_CNT	10	0x0000	脉冲计数清零设置

48	RST_ENG	10	0x0000	能量清零设置，详见“能量清零设置寄存器”说明
49	ADC_PD	2	0x0	通道 ADC 的使能控制，[0]电压通道；[1]电流通道；

### 4.3 校准寄存器

地址	名称	位宽	默认值	描述
51	GAIN	12	0x000	通道 PGA 增益调整，增益倍率说明： 0000=1,0001=2,0010=8,0011=16,0110=24,0111=32 ； [11:8]为电流 A 通道，[7:4]为保留，[3:0]为电压通道
52	IRMS_P1	16	0x0100	角差分段点定义 P1，满足 $IRMS_{min} < P1 < P2 < IRMS_{max}$
53	IRMS_P2	16	0x2000	角差分段点定义 P2，满足 $IRMS_{min} < P1 < P2 < IRMS_{max}$
54	I_PHCAL1	16	0x0000	电流通道角差校正 1，当 $IRMS_{min} <$ 输入电流有效值 $< P1 * 256$ 时，[6:0]用于校正的电流通道相位。 当 $P1 * 256 <$ 输入电流有效值 $< P2 * 256$ 时，[14:8]用于校正的电流通道相位，调整精度同上。
55	I_PHCAL2	8	0x00	电流通道角差校正 2，当 $P2 * 256 <$ 输入电流有效值 $< IRMS_{max}$ 时，[6:0]用于校正的电流通道相位
58	V_PHCAL	8	0x00	电压通道角差校正（同上 53）
5A	I_CHOS	16	0x0000	电流通道偏置调整，补码
5C	V_CHOS	16	0x0000	电压通道偏置调整，补码
5D	I_CHOS_1	16	0x0000	电流通道偏置调整，补码
5F	V_CHOS_1	16	0x0000	电压通道偏置调整，补码
60	I_CHOS_8	16	0x0000	电流通道偏置调整，补码
62	V_CHOS_8	16	0x0000	电压通道偏置调整，补码

63	I_CHOS_16	16	0x0000	电流通道偏置调整，补码
65	V_CHOS_16	16	0x0000	电压通道偏置调整，补码
66	I_CHOS_32	16	0x0000	电流通道偏置调整，补码
68	V_CHOS_32	16	0x0000	电压通道偏置调整，补码
69	I_CHGN	16	0x0000	电流通道增益调整，补码
6B	V_CHGN	16	0x0000	电压通道增益调整，补码
6C	I_RMSOS	16	0x0000	电流有效值偏置校正寄存器
6E	V_RMSOS	16	0x0000	电压有效值偏置校正寄存器
71	I_RMSGN	16	0x0000	电流有效值增益调整
73	V_RMSGN	16	0x0000	电压有效值增益调整
74	WATTOS	16	0x0000	有功功率偏置调整，补码
76	WATTGN	16	0x0000	有功功率增益调整，补码
78	WATTOS_DC	16	0x0000	直流有功功率偏置调整，补码
7A	WATTGN_DC	16	0x0000	直流有功功率增益调整，补码
7C	VAROS	16	0x0000	无功功率偏置调整，补码
7E	VARGN	16	0x0000	无功功率增益调整，补码
80	VAOS	16	0x0000	视在功率偏置调整，补码
82	VAGN	16	0x0000	视在功率增益调整，补码
84	WA_LOS	12	0x000	有功小信号补偿寄存器，补码。
86	VAR_LOS	12	0x000	无功小信号补偿寄存器，补码。
88	WA_CREEP	12	0x04C	有功防潜动功率阈值 WA_CREEP
89	VAR_CREEP	12	0x04C	无功防潜动功率阈值 VAR_CREEP
8A	RMS_CREEP	12	0x200	有效值小信号阈值
8B	REVP_CREEP	12	0x04C	反向指示阈值
8C	V_PKLVL	16	0xFFFF	电压峰值门限，[15:12]为判断连续半周期数，[11:0]为判断阈值高 12 位。

8D	I_PKLVL	16	0xFFFF	电流峰值门限。[15:12]为判断连续半周期数，[11:0]为判断阈值高 12 位。
8E	ZXTOUT	16	0xFFFF	过零超时，如果在此寄存器表示的时间内没有过零信号，将产生过零超时中断，缺省 FFFFH。
91	SAGCYC	8	0x04	跌落线周期，缺省 04H。
92	SAGLVL	12	0x100	跌落电压阈值，电压通道输入连续低于此寄存器值的时间超过 SAGCYC 中的时间，将产生线电压跌落中断，缺省为 100H，约 1/16 满幅度电压输入
93	Reserved	13	0x0FFF	保留，参与校验和
94	I_FAST_RMS_CTRL 1	12	0x20F	[11:9]电流通道快速有效值寄存器刷新时间,可选半周波和 N 周波，默认是周波;[8:0]通道快速有效值阈值寄存器高 9 位[20:12]
95	I_FAST_RMS_CTRL 2	12	0xFFF	电流通道快速有效值阈值寄存器低 12 位[11:0]，
98	V_FAST_RMS_CTR L1	12	0x20F	[11:9]电压通道快速有效值寄存器刷新时间,可选半周波和 N 周波，默认是周波;[8:0]通道快速有效值阈值寄存器高 9 位[20:12]；2I 模式时使用
99	V_FAST_RMS_CTR L2	12	0xFFF	电压通道快速有效值阈值寄存器低 12 位[11:0]；2I 模式时使用
9A	Reserved	12	0x000	保留
9B	Reserved		0x000	保留
9C	Reserved		0x000	保留
9D	Reserved	16	0x07FF	保留
9E	Reserved	12	0x000	保留
9F	Reserved	12	0x000	保留
A0	VAR_PHCAL_B	16	0x0000	无功角度修正
A1	VAR_PHCAL_A	16	0x0000	无功角度修正
A2	CFDIV	12	0x020	有功 CF 缩放比例寄存器
A3	ZXVLVL	16	0x0001	
A4	ZXILVL	16	0x0001	

A5	Reserved	8	0x00	
A6	checksum1	16	0x2100	寄存器校验和 1, checksum1 对 reg51 到 reg6E 累加, 再加 RegC5
A7	checksum2	16	0x02E1	寄存器校验和 2, checksum2 对 reg71 到 reg8E 累加, 再加 RegC5
A8	checksum3	16	0x3F38	寄存器校验和 3, checksum3 对 reg91 到 regA5 累加, 再加 RegC5
C5	Block	16		校准 Block 区域

## 4.4 电参数寄存器详细说明

### 4.4.1 波形寄存器

地址	名称	位宽	默认值	描述
1	I_WAVE	24	0x000000	电流波形
3	V_WAVE	24	0x000000	电压波形
4	I_WAVE_DC	24	0x000000	电流直流波形
6	V_WAVE_DC	24	0x000000	电压直流波形

实时采样点的波形数据,  $20\text{ms}/64=312.5$ , 每个周期约 312 个采样点。

### 4.4.2 有效值寄存器

地址	名称	位宽	默认值	描述
7	I_RMS	24	0x000000	电流有效值
9	V_RMS	24	0x000000	电压有效值
A	I_FAST_RMS	24	0x000000	电流快速有效值
C	V_FAST_RMS	24	0x000000	电压快速有效值

寄存器值与输入信号的对应公式 (典型值)

电流有效值寄存器:  $I\_RMS = \frac{6923 * V(A) * GAIN\_I}{Vref}$

电压有效值寄存器值:  $V\_RMS = \frac{6704 * V(V) * GAIN\_V}{Vref}$

V(A)为电流输入管脚的电压信号(单位: 毫伏)

V(V)为电压输入管脚的电压信号(单位: 毫伏)

Vref为参考电压, 典型值: 1.0975V

GAIN\_I、GAIN\_V 分别为电流通道、电压通道的增益倍数

快速有效值与有效值算法不一样, 交流正选波形时两者的量纲关系

$$FAST\_RMS \approx RMS * 0.55$$

### 4.4.3 有功功率寄存器

地址	名称	位宽	默认值	描述
10	WATT	24	0x000000	有功功率, 有符号

有功功率寄存器为带符号的 24 位数据, 补码。最高位为符号位, Bit[23]=1,表示当前功率为负功;

有功功率寄存器值:  $WATT = \frac{11.073 * V(A) * GAIN\_I * V(V) * GAIN\_V * \cos(\phi)}{Vref^2}$

V(A)为电流输入管脚的电压信号(单位: 毫伏)

V(V)为电压输入管脚的电压信号(单位: 毫伏)

Vref为参考电压, 典型值: 1.0975V

GAIN\_I、GAIN\_V 分别为电流通道、电压通道的增益倍数

### 4.4.4 无功功率寄存器

地址	名称	位宽	默认值	描述
12	VAR	24	0x000000	无功功率, 有符号

### 4.4.5 直流功率寄存器

地址	名称	位宽	默认值	描述
----	----	----	-----	----

14	WATTDC	24	0x000000	直流功率
----	--------	----	----------	------

#### 4.4.6 视在功率寄存器

地址	名称	位宽	默认值	描述
16	VA	24	0x000000	视在功率

#### 4.4.7 功率因数寄存器

地址	名称	位宽	默认值	描述
1A	PF	24	0x000000	功率因数寄存器

24 位有符号数，补码。Bit[23]为符号位，

$$\text{功率因数} = \frac{PF}{2^{23}}$$

#### 4.4.8 能量寄存器

地址	名称	位宽	默认值	描述
1C	WATTHR	24	0x000000	有功能量
1E	VARHR	24	0x000000	无功能量
20	DCHR	24	0x000000	直流能量
22	VAHR	24	0x000000	视在能量，无符号
24	SUMHR	24	0x000000	总有功能量

#### 4.4.9 能量脉冲计数寄存器

地址	名称	位宽	默认值	描述
26	CF_CNT	24	0x000000	有功脉冲计数

28	CFQ_CNT	24	0x000000	无功（基波）脉冲计数
2A	CF_DC_CNT	24	0x000000	直流功率脉冲计数
2C	CFS_CNT	24	0x000000	视在脉冲计数
2E	CF_SUM_CNT	24	0x000000	总有功脉冲计数

#### 4.4.10 功率符号位寄存器

地址	名称	位宽	默认值	描述
30	SIGN	10	0x0000	功率符号位寄存器

#### 4.4.11 峰值寄存器

地址	名称	位宽	默认值	描述
31	I_PK	24	0x000000	电流波形峰值寄存器
33	V_PK	24	0x000000	电压波形峰值寄存器

#### 4.4.12 线电压频率寄存器

地址	名称	位宽	默认值	描述
35	PERIOD	20	0x000000	线电压频率周期寄存器

测量选中的电压通道的正弦波信号频率。

$$\text{线电压频率} = \frac{10000000}{\text{PERIOD}} \text{ Hz}$$

#### 4.4.13 电压电流夹角寄存器

地址	名称	位宽	默认值	描述
36	CORNER	16	0x000000	电压与电流波形夹角寄存器

需要注意，在电流小于一定值时，夹角寄存器停止工作。

$$\text{夹角}(\text{°}) = \frac{360 * \text{ANGLE}[N] * f_c}{500000}$$

$f_c$  是交流信号源的测量频率，默认是 50Hz

### 4.4.14 状态寄存器

地址	名称	位宽	默认值	描述
3E	STATUS_MF	3	0x00	M 状态，无符号，过流状态；[0]=1,表示电流快速有效值超过阈值； [2]=1，表示电压快速有效值超过阈值；(2I模式时起作用)
3F	STATUS	16	0x000000	中断状态，无符号，参考“中断屏蔽寄存器”

## 4.5 用户操作寄存器详细说明

### 4.5.1 用户写保护设置寄存器

地址	名称	位宽	默认值	描述
40	USR_WRPROT	16	0x0000	用户写保护设置寄存器，写入 0x5555 时，表示可操作用户寄存器对 reg41 到 regA8, regC4

BL0971 对于寄存器写入有严格的保护机制，必须先向写保护设置寄存器写入 0x5555，才能写入其他寄存器。

### 4.5.2 软复位寄存器

地址	名称	位宽	默认值	描述
41	SOFT_RESET	16	0x000000	当输入为 5A5A5A 时，系统复位—只复位数字部分的状态机和寄存器！

				当输入为 55AA55 时，用户读写寄存器复位— Reset: reg40 到 regA8, regC0 到 regCD(除 regC6)
--	--	--	--	---

### 4.5.3 输出模式寄存器

0x43		MODE_OUT		输出模式寄存器	
No.	name	default value	description		
[3:0]	保留	4'b0000			
[7:4]	CF_SEL	4'b0000	CF 脉冲配置输出，0000-关闭 CF； 0001-A_CF；0011-A_CFQ；0101-A_CF_DC；0111- A_CFS；1001-A_CF_SUM；		
[10:8]	AVG_SEL	3'b000	快速有效值寄存器输出选择，默认 0 选择快速有效值， 为 1 选择直流平均值		
[14:11]	保留	4'b0000			
[15]	mode_all	1'b0	模式选择，0-1UII，一路电压一路电流；1-2I，两路电 流		

### 4.5.4 用户模式选择寄存器

0x44		MODE		工作模式寄存器	
No.	name	default value	description		
[0]	L_F_SEL	1'b0	快速有效值选择通过高通，默认为 0 选择没有高 通，为 1 选择高通		
[3:1]	WAVE_SEL	3{1'b0}	有功波形选择：0-高通，1-不过高通		
[9:4]	WAVE_RMS_SEL	3{2'b00}	有效值波形选择：11-高通，10-直流，01-sinc 后， 00-高通；[9:8]电压，[7:6]保留，[5:4]电流，		
[10]	WAVE_REG_SEL	1'b0	电流 WAVE 波形寄存器输出选择，默认 0 选择正 常电流通道的波形，为 1 选择快速有效值测量通 道的波形输出		
[11]	CF_ADD_SEL	1'b0	watt 和 var 能量加方式：0-绝对值加；1-代数加和		

[12]	VA_SEL	1'b0	va 算法选择: 0-rmsi*rmsv; 1- $(\text{watt}^2+\text{var}^2)^{0.5}$
[14:13]	RMS_UPDATE_SEL	2'b00	有效值寄存器更新速度选择, 11-1000ms,00-500ms(默认),01-250ms;10-125ms
[15]	AC_FREQ_SEL	1'b0	交流电频率选择, 1-60Hz, 0-50Hz, 默认选择 50Hz

#### 4.5.5 中断屏蔽寄存器

位置	中断标志	默认值	描述
0	ZX03	0	指示产生电压波形符号位
1	ZX01	0	指示产生电流波形符号位
2	Reserved	0	
3	SAG	0	指示产生电压跌落中断, 跌落为 1
4	ZXTO	0	指示产生过零超时中断, 超时为 1
5	PK_I	0	指示电流通道有效值峰值超过 PKILVL 中断, 为 1
6	Reserved	0	
7	PK_V	0	指示电压通道有效值峰值超过 PKVLVL 中断, 为 1
8	REVPAP	0	指示有功功率计算发生符号变化
9	Reserved	0	
10	REVPRP	0	指示无功功率计算发生符号变化
11	Reserved	0	
12	VREF_LOW	0	指示基准电压值偏低, 为 1 时, $VREF < 1V$ ; 为 0 时正常
13	INPUT_CKS_ERR	0	输入校验, 为 1 时, 校验和错误;
14	Reserved		
15	Reserved		

## 4.5.6 读后清零设置寄存器

地址	名称	位宽	默认值	描述
47	RST_CF_CNT	10	0x000	电能脉冲计数寄存器读后清零设置
48	RST_ENG	10	0x000	电能能量寄存器读后清零设置

Bit[9:0]设置为 1 时，电能相关寄存器设置为读后清零。可单独设置。

Bit[9:0]	9	8	...	2	1	0
电能能量寄存器地址(0x)	25	24	...	1E	1D	1C
电能脉冲寄存器地址(0x)	2F	2E	...	28	27	26

## 4.5.7 ADC 使能控制

地址	名称	位宽	默认值	描述
49	ADC_PD	2	0x0	3 路模拟通道 ADC 的使能控制 [0]-电压通道；[1]-电流 A 通道；

可以通过关闭未使用的通道来降低功耗。对应位设置为 1 时，关闭对应通道的 ADC。

## 4.6 校准寄存器详细说明

### 4.6.1 通道 PGA 增益调整

地址	名称	位宽	默认值	描述
51	GAIN	12	0x000	通道 PGA 增益调整寄存器 [3:0]: 电压通道；[7:4]:保留； [11:8]: 电流 A 通道

每 4bit 控制一个通道，[0010]=8 倍；[0011]=16 倍；[0110]=24 倍；[0111]=32 倍；

如果 PGA 增益设置后，通道允许输入的最大信号需要相应的降低；

GAIN[3:0]	PGA 增益倍数	通道允许输入最大信号（典型值）
0010	8	差分电压 175mV pp (123mV rms)
0011	16	差分电压 87.5mV pp
0110	24	差分电压 58.3mVpp
0111	32	差分电压 43.75mV (31mV rms)

注：出于降低模拟通道间串扰考虑，电流、电压通道的 PGA 增益设置可选取 16、24、32 倍增益。

### 4.6.2 相位校正相关寄存器

电流通道角差分段定义寄存器：

地址	名称	位宽	默认值	描述
52	IRMS_P1	16	0x0100	角差分段点定义 P1，满足 $IRMS_{min} < P1 * 256 < P2 * 256 < IRMS_{max}$
53	IRMS_P2	16	0x2000	角差分段点定义 P2，满足 $IRMS_{min} < P1 * 256 < P2 * 256 < IRMS_{max}$

采用电流互感器在不同的电流时角差可能不一样，BL0971 可设置根据电流有效值进行分段相位补偿。

地址	名称	位宽	默认值	描述
54	I_PHCAL1	16	0x0000	电流通道角差校正 1，当 $IRMS_{min} <$ 输入电流有效值 $< P1 * 256$ 时，[6:0]用于校正的电流通道相位。当 $P1 * 256 <$ 输入电流有效值 $< P2 * 256$ 时，[14:8]用于校正的电流通道相位，调整精度同上。
55	I_PHCAL2	8	0x00	电流通道角差校正 2，当 $P2 * 256 <$ 输入电流有效值 $< IRMS_{max}$ 时，[6:0]用于校正的电流通道相位
58	V_PHCAL	8	0x00	电压通道角差校正（同上）
A1	VAR_PHCAL_A	16	0x0000	无功角度修正

以电流通道角差校正寄存器为例进行说明：

当  $IRMS_{min} <$  输入电流有效值 ( $I_{RMS}$ )  $< P1 * 256$  时，I\_PHCAL1[7:0]用于校正电流通道相位，最小调整延时时间 250ns，对应 0.0045 度/1LSB，最大可调整  $\pm 0.574$  度。

当  $P1*256 < \text{输入电流有效值 (I}_{RMS}) < P2*256$  时,  $I\_PHCAL [15:8]$ 用于校正电流通道相位, 调整精度同上。

当  $P2*256 < \text{输入电流有效值 (I}_{RMS}) < I_{RMSmax}$  时,  $I\_PHCAL [23:16]$ 用于校正电流通道相位, 调整精度同上。

(最小调整延时时间位 250nS, 对应  $0.0045^\circ / \text{LSB}$ , 对应误差  $\approx 1.732 * \sin(0.0045^\circ) = 0.0136\%$ , 最大调整约  $0.574^\circ$ , 最大调整误差约 1.734%。)

### 4.6.3 通道偏置调整

地址	名称	位宽	默认值	描述
5A	I_CHOS	16	0x0000	电流通道偏置调整寄存器, 补码
5C	V_CHOS	16	0x0000	电压通道偏置调整寄存器, 补码
5D	I_CHOS_1	16	0x0000	电流通道偏置调整, 补码
5F	V_CHOS_1	16	0x0000	电压通道偏置调整, 补码
60	I_CHOS_8	16	0x0000	电流通道偏置调整, 补码
62	V_CHOS_8	16	0x0000	电压通道偏置调整, 补码
63	I_CHOS_16	16	0x0000	电流通道偏置调整, 补码
65	V_CHOS_16	16	0x0000	电压通道偏置调整, 补码
66	I_CHOS_32	16	0x0000	电流通道偏置调整, 补码
68	V_CHOS_32	16	0x0000	电压通道偏置调整, 补码

以 2 的补码形式的数据来分别消除电流通道和电压通道模数转换带来的偏差。这里的偏差可能是源于输入以及模数转换电路本身产生的 offset。偏差校正可以在无负载情况下波形 offset 为 0。

$$WAVE[N] = WAVE0[N] + CHOS[N]$$

其中  $WAVE0[N]$ 为对应通道的测量值,  $CHOS[N]$ 为对应通道的偏置校准值,  $WAVE[N]$ 为校准后的输出值。

### 4.6.4 通道增益调整

地址	名称	位宽	默认值	描述
69	I_CHGN	16	0x0000	电流通道增益调整寄存器, 补码
6B	V_CHGN	16	0x0000	电压通道增益调整寄存器, 补码

16 位带符号数，以 2 的补码形式调整对应通道的 AD 采样波形的增益，可调整范围±50%

$$X\_WAVE = X\_WAVE0 * (1 + \frac{X\_CHGN}{2^{16}})$$

其中 X\_WAVE0 为对应通道的测量值，X\_CHGN 为对应通道的增益调整值，X\_WAVE 为校准后的输出值。

### 4.6.5 有效值偏置校正

地址	名称	位宽	默认值	描述
6C	I_RMSOS	16	0x0000	电流通道有效值偏置校正寄存器
6E	V_RMSOS	16	0x0000	电压通道有效值偏置校正寄存器

补码，最高位符号位。用于消除有效值计算中的源于输入噪声带来的偏差，可以在无负载情况下有效值寄存器值接近 0。

$$X\_RMS = \sqrt{X\_RMS0^2 + X\_RMSOS * 256}$$

其中 X\_RMS0 为对应通道的有效值测量值，X\_RMSOS 为对应通道的偏置校正值，X\_RMS 为对应的校准后的有效值输出值。

### 4.6.6 有效值增益调整

地址	名称	位宽	默认值	描述
71	I_RMSGN	16	0x0000	电流通道有效值增益调整寄存器
73	V_RMSGN	16	0x0000	电压通道有效值增益调整寄存器

补码，最高位为符号位，用于有效值的增益校正，调整范围±50%

$$X\_RMS = X\_RMS0 * (1 + \frac{X\_RMSGN}{2^{16}})$$

其中 X\_RMS0 为对应通道的有效值测量值，X\_RMSGN 为对应通道的增益调整值，X\_RMS 为对应的校准后的有效值输出值。

### 4.6.7 功率偏置校正

地址	名称	位宽	默认值	描述
74	WATTOS	16	0x0000	有功功率偏置调整寄存器，补码
78	WATTOS_DC	16	0x0000	直流有功功率偏置调整，补码

7C	VAROS	16	0x0000	无功功率偏置调整，补码
80	VAOS	16	0x0000	视在功率偏置调整，补码
84	WA_LOS	12	0x000	有功小信号补偿寄存器，补码。
86	VAR_LOS	12	0x000	无功小信号补偿寄存器，补码。

补码，最高位符号位。用于消除板级噪声带来的功率偏差。

以有功功率偏置修正为例，说明如下：

$$WATT = WATT0 + \frac{WATTOS}{2}$$

其中 WATT0 为某一通道的测量值，WATTOS 为对应的偏置校正值，WATT 为对应的校准输出值。

无功、视在功率的偏置修正公式类似：

### 4.6.8 功率增益调整

地址	名称	位宽	默认值	描述
76	WATTGN	16	0x0000	有功功率增益调整，补码
7A	WATTGN_DC	16	0x0000	直流有功功率增益调整，补码
7E	VARGN	16	0x0000	无功功率增益调整，补码
82	VAGN	16	0x0000	视在功率增益调整，补码

以有功功率增益调整为例，说明如下：

$$WATT = WATT0 * (1 + \frac{WATTGN}{2^{16}})$$

其中 WATT 是校正之后的有功功率，WATT0 是第 N 路校正之前的有功功率。调整范围±50%。

无功、视在功率增益修正公式类似：

### 4.6.9 防潜动阈值设置

地址	名称	位宽	默认值	描述
----	----	----	-----	----

88	WA_CREEP	12	0x04C	有功防潜动功率阈值
89	VAR_CREEP	12	0x04C	无功防潜动功率阈值
8A	RMS_CREEP	12	0x200	有效值小信号阈值
8B	REVP_CREEP	12	0x04C	反向指示阈值

用于切除噪声信号带来的干扰，可在无负载信号情况下，相关寄存器值切除到零；

以有功防潜动功率阈值寄存器设置为例：当输入功率信号绝对值小于 WA\_CREEP\*2 时，输出功率寄存器值设为零。这可以在无负载情况下，即使有小的噪声信号，输出到有功率寄存器中的值为 0。

其他阈值寄存器类似；

### 4.6.10 CF 缩放比例设置

用于控制电能脉冲计数的累积快慢，BL6552 的缺省设置为 0x10

地址	名称	位宽	默认值	描述
A2	CFDIV	12	0x020	CF 缩放比例寄存器[11:0]

以 CFDIV=0x10 时电能脉冲计数的频率作为标准频率，其他设置时的电能脉冲计数的倍数如下：

CFDIV	计数倍率	CFDIV	计数倍率
0x00	0.03125	0x40	4
0x01	0.0625	0x80	8
0x02	0.125	0x100	16
0x04	0.25	0x200	32
0x08	0.5	0x400	64
0x10	1	0x800	256
0x20	2	其他值	1

## 4.7 故障监测相关设置

见 3.8 故障监测章节描述

## 5. 通讯接口

寄存器数据均按 3 字节（24bit）发送，不足 3 字节的寄存器数据，未使用位补 0，凑足 3 字节发送。

通过管脚 SEL 选择，SEL=1 时为 SPI 模式，SEL=0 时为 UART 模式。

### 5.1 SPI

#### 5.1.1 概述

从模式，四线 SPI，半双工通讯，最大通讯速率 < 750K

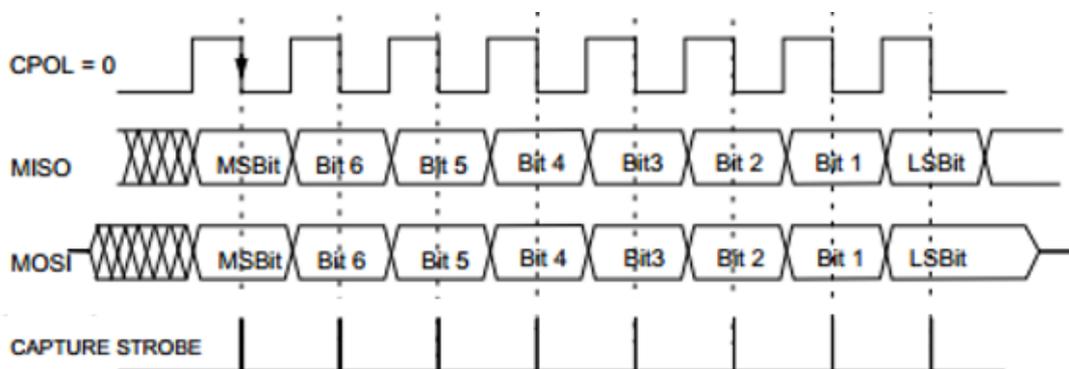
8-bit 数据传输，MSB 在前，LSB 在后

固定时钟极性/相位（CPOL=0, CPHA=1）

CS 拉低，选中当前器件

#### 5.1.2 工作模式

主设备工作在 Mode1: CPOL=0, CPHA=1, 即空闲态时, SCLK 处于低电平, 数据发送是在第 1 个边沿, 也就是 SCLK 由低电平到高电平的跳变, 所以数据采样是在下降沿, 数据发送是在上升沿。



### 5.1.3 帧结构

在通信模式下，先发送 8bit 识别字节(0x81) 或(0x82)，(0x82)是读识别字节，(0x81)是写识别字节，然后再发送寄存器地址字节，决定访问寄存器的地址（请参见 BL0971 寄存器列表）。下图分别示出读出和写入操作的数据传送顺序。一帧数据传送完成，BL0971 重新进入通信模式。每次读/写操作所需的 SCLK 的脉冲个数均为 48 位。

帧结构有两种，分别说明如下：

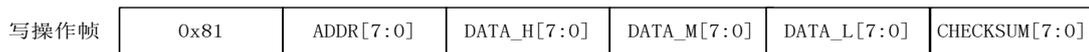
#### 1) Write register

Cmd: {0x81}+Addr+Data\_H+Data\_M+Data\_L+SUM

{0x81}为写操作的帧识别字节；

Addr 为写操作对应的 BL0971 的内部寄存器地址；

其中校验和字节 CHECKSUM 为((0x81)+ ADDR+ DATA\_H+ DATA\_M+ DATA\_L)& 0xFF)再按位取反。



#### 2) Read register

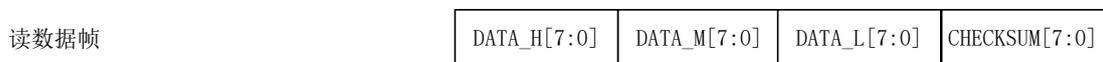
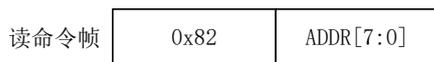
Cmd: {0x82}+Addr

返回: Data\_H+Data\_M+Data\_L+SUM

{0x82}为读操作的帧识别字节；

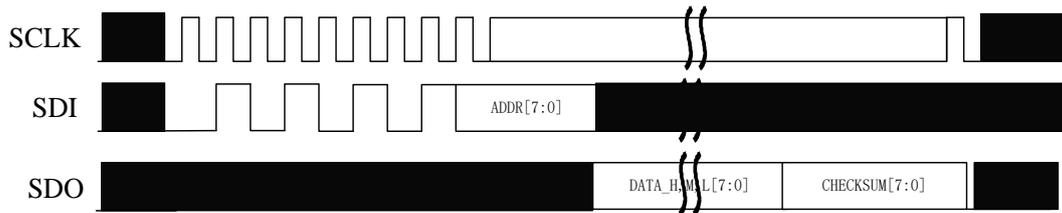
Addr 为读操作对应的 BL0971 的内部寄存器地址；

其中校验和字节 CHECKSUM 为 ((0x82)+ ADDR+ DATA\_H+ DATA\_M+ DATA\_L) & 0xFF) 再按位取反。



### 5.1.4 读出操作时序

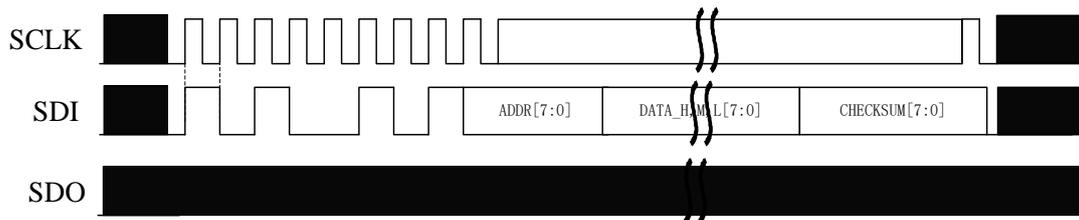
在对 BL0971 进行数据读出操作期间，在 SCLK 的上升沿，BL0971 将相应的数据位移出到 DOUT 逻辑输出管脚，在接下来的 SCLK 为 1 的时间内，DOUT 数值保持不变，即在下一个下降沿时，外部设备可以对 DOUT 值进行采样。同数据写入操作一样，在数据读出操作之前 MCU 必须先发送识别字节和地址字节。



当 BL0971 处于通信模式时，帧识别字节 {0x82}，表示下一个数据传送操作是读出。然后紧跟的字节是待读出目标寄存器的地址。BL0971 在 SCLK 的上升沿开始移出寄存器中的数据。寄存器数据的所有其余位在随后的 SCLK 上升沿被移出。因此，在下降沿，外部设备可以对 SPI 的输出数据进行采样操作。一旦读出操作结束，串行接口便重新进入通信模式。这时，DOOUT 逻辑输出在最后一个 SCLK 信号的下降沿进入高阻状态。

### 5.1.5 写入操作时序

串行写入顺序按下述方式进行。帧识别字节 {0x81}，表示数据传送操作时写入。MCU 将需要写入 BL0971 的数据位在 SCLK 的下沿之前准备好，在 SCLK 的该时钟的下沿开始移入寄存器数据。寄存器数据的所有其余位也在该 SCLK 的下沿进行左移移位操作。



#### SPI 接口的容错机制

- 1) 如果帧识别字节错误或 SUM 字节错误，则该帧数据放弃。
- 2) SPI 模块复位：通过 SPI 接口下发 6 个字节的 0xFF，可单独对 SPI 接口进行复位；
- 3) \_CS 拉高复位。

## 5.2 UART

### 5.2.1 概述

通过管脚 SEL 选择，SEL=1 时为 SPI 模式，SEL=0 时为 UART 模式

通信波特率可选择：4800bps/9600bps/19200bps/38400bps/，无校验，停止位 1；

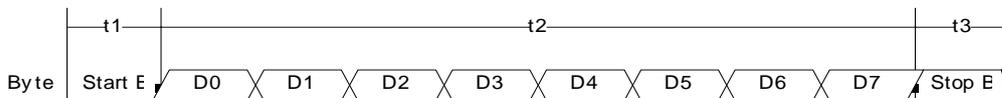
波特率设置	4800	9600	19200	38400
CS 管脚	0	0	1	1
SCLK 管脚	0	1	0	1

UART 模式时，CS，SCLK 管脚作为波特率设置管脚。

支持 UART 级联功能，最多 16 片 BL0971 挂在 UART 总线上进行分时通信。芯片的器件地址可通过 A4~A1 管脚设置，可设置 0b0000~0b1111 共 16 个地址。

### 5.2.2 每个字节格式

以 4800bps 为例说明：



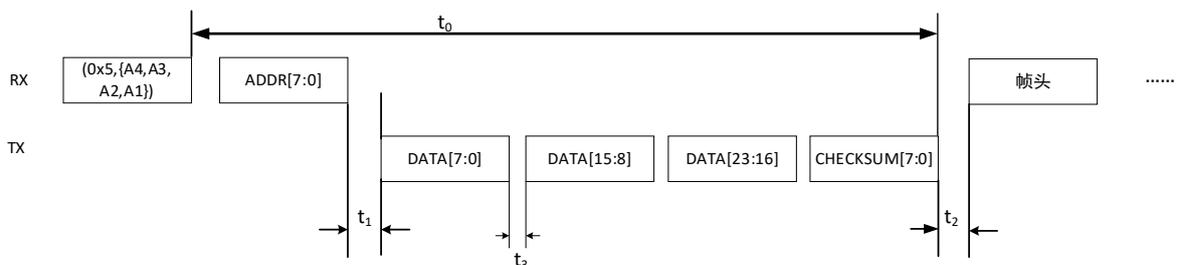
起始位低电平持续时间  $t1=208\mu s(4800bps)$ ;

有效数据位时间持续  $t2=208*8=1664\mu s(4800bps)$ ;

停止位高电平持续时间  $t3=208\mu s(4800bps)$ ;

### 5.2.3 读取时序

主机 UART 读数据时序如下图所示，主机先发送命令字节(0x5,{A4,A3,A2,A1})，然后发送需要读取的地址字节 (ADDR)，接下来 BL0971 依次发送数据字节，最后校验和字节。



(0x5, {A4,A3,A2,A1})为读操作的帧识别字节；以 A4=A1=1, A3=A2=0 为例，此管脚设置代表器件地址 9 (0b1001)，帧识别字节为 0x59；

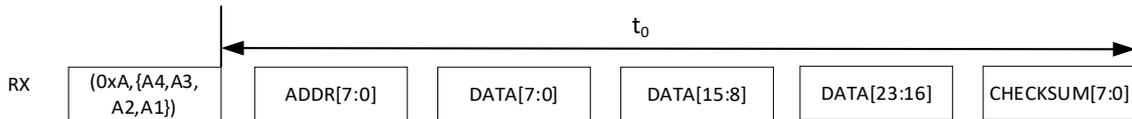
Addr 为读操作对应的 BL0971 的内部寄存器地址；

SUM 字节为(帧识别字节+Addr+Data\_L+Data\_M+Data\_H)&0xFF 取反；

	读时序说明	Min	Type	Max	Unit
t0	帧长(不含帧识别字节)			16	mS
t1	读操作时 MCU 发送寄存器地址结束到 BL0910 发送字节的间隔时间		120		uS
t2	帧间隔时间	1t <sub>bit</sub>			
t3	BL0910 返回字节间隔时间		1t <sub>bit</sub>		

### 5.2.4 写入时序

主机 UART 写数据时序如下图所示，主机先发送命令字节(0xA, {A4,A3,A2,A1})，然后是写地址字节 (ADDR)，接下来依次发送数据字节，最后校验和字节。



(0xA, {A4,A3,A2,A1})为写操作的帧识别字节；以 A4=A1=1, A3=A2=0 为例，此管脚设置代表器件地址 9 (0b1001)，帧识别字节为 0xA9；

Addr 为写操作对应的 BL0971 的内部寄存器地址；

CHECKSUM 字节为((帧识别字节+ADDR+Data\_L+Data\_M+Data\_H)& 0xFF)再按位取反。

	写时序说明	Min	Type	Max	Unit
t0	帧长 (不含帧识别字节)			16	mS

### 5.2.5 UART 接口的保护机制

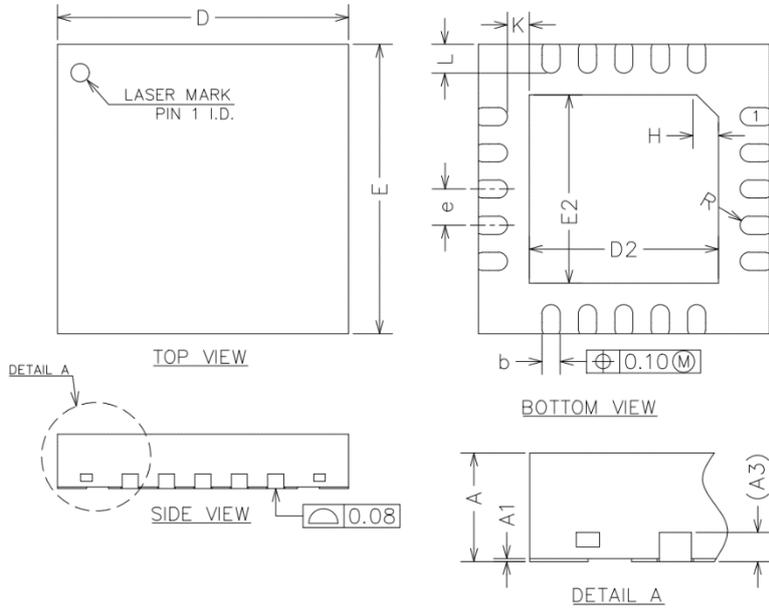
BL0971 的 UART 通信提供超时保护机制，帧超时后，UART 接口复位。如果读操作出错，等待 >20mS，再进行下一帧读写操作。

如果帧识别字节错误或 CHECKSUM 字节错误，则该帧数据放弃。

UART 模块复位：RX 管脚低电平超过 32 个 t<sub>bit</sub> (4800bps 时为 6.67ms) 后拉高，UART 模块复位。

## 6. 封装信息

BL0971 QFN20 封装



COMMON DIMENSIONS  
(UNITS OF MEASURE=MILLIMETER)

SYMBOL	MIN	NOM	MAX
A	0.70	0.75	0.80
A1	0.00	0.02	0.05
A3	0.20REF		
b	0.20	0.25	0.30
D	3.90	4.00	4.10
E	3.90	4.00	4.10
D2	2.50	2.60	2.70
E2	2.50	2.60	2.70
e	0.40	0.50	0.60
H	0.30REF		
K	0.20	-	-
L	0.35	0.40	0.45
R	0.10	-	-

## 7. 版本信息

版本号	修改时间	修改内容
V1.00	2024/08/02	创建