

BL0971 应用指南

目录

交流电能测量.....	2
应用电路图:	2
电阻采样方式.....	2
关于有功功率防潜动阈值设置.....	4
互感器采样方式.....	5
寄存器设置.....	5
关于电参数转换.....	6
电网频率转换.....	6
直流电能测量.....	6
应用电路图:	6
设置直流测量模式.....	6
直流偏置的校正.....	7
PCB 设计注意事项.....	8
校准方法	9

BL0971 是上海贝岭股份有限公司开发的一款内置时钟免校准电能计量芯片，适用于电动自行车充电桩、PDU、断路器、4~20mA 模拟量采集等需要交流/直流计量的场景。

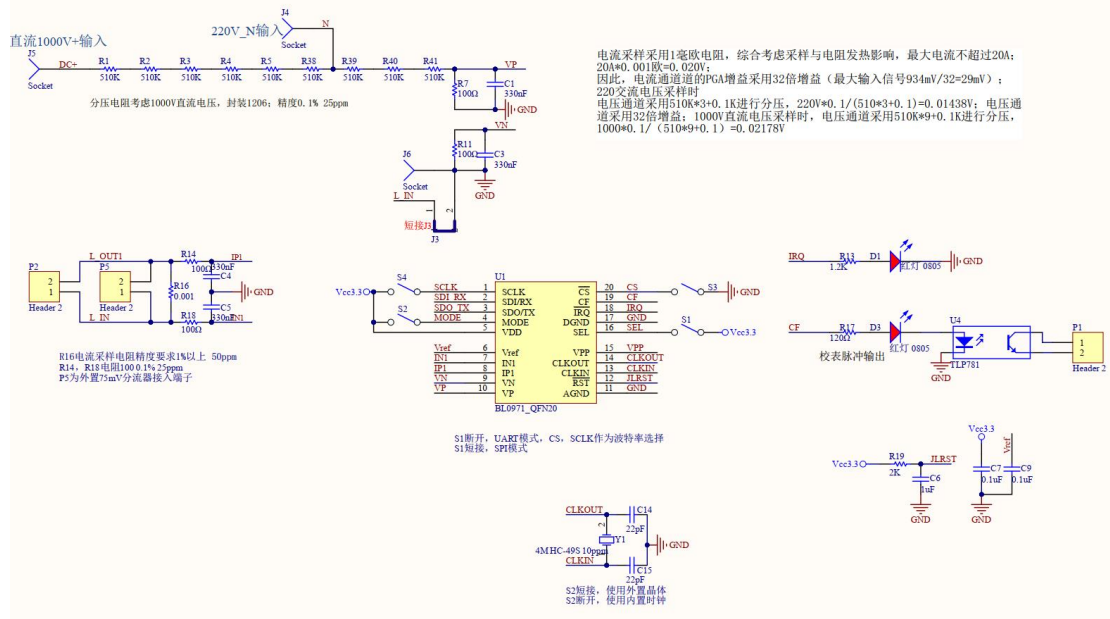
BL0971 集成了 2 路高精度 Sigma-Delta ADC，可同时测量 2 路信号（1UII 一路电压一路电流或 2I 两路电流）。

BL0971 能够测量电流、电压有效值、有功功率、无功功率、视在功率、有功电能、无功电能、视在能量等参数，可输出快速电流有效值（用于过压、过流等故障检测），波形输出等功能，通过 SPI/UART 接口输出数据，

交流电能测量

应用电路图:

电阻采样方式



注意:

- 1) CF 管脚可配置为校表脉冲输出（具体配置见 MODE_OUT 寄存器说明）;
- 2) SPI/UART 接口的速率，通信协议的描述见“BL0971 datasheet Vx.x.pdf”;
- 3) BL0971 在出厂时已做增益修正，如果要免校准，外围器件的精度保证在 1%以内，以保证整机测量精度 2%以内;

寄存器设置

需要在上电初始化时进行寄存器设置，设置步骤如下:

- 1) Reg40 寄存器(USR_WRPROT)写入 0x005555，允许操作用户寄存器。
- 2) 通道 PGA 增益配置

采用 1 毫欧合金电阻进行采样时，电流通道采用 32 倍增益，电压通道采用 32 倍增益；
0010=8 倍；0011=16 倍；0110=24 倍；0111=32 倍；

（注意：输入通道的最大差分电压±175mV pp 指的是 8 倍增益，如果使用 32 倍增益，则输入通道的最大差分电压为±175mV pp/4=±43.75mV pp，即约 31mV 有效值）

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]: 电流 B 通道； [11: 8]: 电流 A 通道

所以 Reg51 寄存器(GAIN)写入 0x777

3) 其他配置寄存器

逻辑输出管脚配置 (CF 管脚功能), 在 Reg43 寄存器 (MODE_OUT) 进行配置;

降功耗配置, 可以通过 Reg49 寄存器 (ADC_PD) 关闭未使用的采样通道;

关于电参数转换

BL0971 在定义产品时考虑到大部分用户厂家不是专业计量器具厂家, 没有专业的校准设备, 对电能计量精度要求也相对较低, 只是提供用电参考信息, 不作计费标准。智能设备只需要读取功率, 电压, 电流, 并根据有功电能脉冲计数计算用电量, 所以 BL0971 电路在出厂时保证芯片自身的增益偏差小于 1%。

若客户外围器件精度 1%, 不校准的情况下整机精度可达到 2%以内;

$$\text{电压有效值寄存器值} = \frac{6704 * Vv * Gain_V}{Vref}$$

$$\text{电流有效值寄存器值} = \frac{6923 * Vi * Gain_I}{Vref}$$

$$\text{电流快速有效值寄存器值} \approx \frac{6923 * Vi * Gain_I}{Vref} * 0.55$$

$$\text{每路有功功率寄存器值} = \frac{11.073 * Vv * Gain_V * Vi * Gain_I * Cos(\phi)}{Vref^2}$$

Vv: VP, VN 管脚之间的电压信号 (单位: mV)

Vi: IPx, Inx 管脚之间的电压信号 (单位: mV)

Vref: 芯片基准电压 1.0975V

Gain_V、Gain_I: 电压、电流通道的增益倍数 (8, 16, 24, 32)

每个 CFx 脉冲的累计时间 t_{CF} 与每路有功功率寄存器值(WATT), CF 分频寄存器 (CFDIV=0x20) 有关

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

以应用电路图中第一路参数举例说明 (以交流 220V, 16A 方案为例):

电流采样电阻 R16 标识为 RL, 电压通道通过电阻分压 R39, R40, R41 标识为 Rf, R7 标识为 Rv; 电流通道 32 倍增益, 电压通道 32 倍增益;

电流采样电阻 RL 为 0.001Ω, 电压通道通过 Rf (510kΩ * 3) + Rv (0.1kΩ) 电阻分压把交流 220V 电压降到 mV 级信号给 VP 管脚; MCU 通过 SPI/Uart 接口获得 BL0971 的寄存器数据;

$$\text{实际电流值} = \frac{\text{电流有效值寄存器值} * Vref}{6923 * GAIN_I * RL * 1000} \quad \text{安培} \rightarrow \text{电流系数 } Ki = \frac{6923 * GAIN_I * RL * 1000}{Vref}$$

$$\text{实际电压值} = \frac{\text{电压有效值寄存器值} * Vref * (Rf + Rv)}{6704 * GAIN_V * Rv * 1000} \quad \text{伏} \rightarrow \text{电压系数 } Kv = \frac{6704 * GAIN_V * Rv * 1000}{Vref * (Rf + Rv)}$$

$$\text{实际有功功率值} = \frac{\text{有功功率寄存器值} * Vref^2 * (Rf + Rv)}{11.073 * RL * GAIN_I * Rv * GAIN_V * 1000000} \quad \text{瓦} \rightarrow \text{功率系数}$$

$$Kp = \frac{11.073 * RL * GAIN_I * Rv * GAIN_V * 1000000}{Vref^2 * (Rf + Rv)}$$

CF_CNT 寄存器中存放的是电能脉冲个数；

$$\text{每个电能脉冲对应的电量} = \frac{4194304 * 0.032768 * 32 * Vref^2 * (Rf + Rv)}{3600000 * 11.073 * RL * GAIN_I * Rv * GAIN_V * 1000000 * CFDIV} \text{ 度}$$

$$\frac{4194304 * 0.032768 * 64}{3600000 * CFDIV * Kp} \text{ 度}$$

RL 单位为 Ω ，Rf, Rv 单位为 Ω ；Vref=1.0975 伏；CFDIV=32；

GAIN_I=32，GAIN_V=32；

例：I_RMS 寄存器值为 1009389，V_RMS 寄存器值为 2205127，WATT 寄存器值为 530994，CF_CNT 寄存器值 8057；根据公式转换：

$$\text{实际电流值} = \frac{1009389 * 1.0975}{6923 * 32 * 0.001 * 1000} A \approx 5.00056A$$

$$\text{实际电压值} = \frac{2205127 * 1.0975 * (510 * 3 + 0.1)}{6704 * 32 * 0.1 * 1000} \text{ 伏} \approx 172.613 \text{ 伏}$$

$$\text{实际有功功率} = \frac{530994 * 1.0975 * 1.0975 * (510 * 3 + 0.1)}{11.073 * 0.001 * 32 * 0.1 * 32 * 1000000} \text{ 瓦} \approx 863.084 \text{ 瓦}$$

$$\text{上电后 BL0971 累积电能} = \frac{4194304 * 0.032768 * 32 * 1.0975 * 1.0975 * (510 * 3 + 0.1)}{3600000 * 11.073 * 0.001 * 32 * 0.1 * 32 * 1000000 * 32} * 8057 \text{ 度}$$

注意：

- 1) 有功功率 WATT 寄存器是补码方式，如果是负功率，需要进行补码转换；

关于有功功率防潜动阈值设置

通常在 PCB 布线时有可能由于布板走线或外部电磁干扰，在无负载时，由于噪声信号影响，芯片检测到噪声功率，导致有功功率寄存器可能出现正功或负功。

BL0971 具有专利功率防潜功能，保证无电流输入的时候板级噪声功率不会累积电量。

有功防潜动阈值寄存器 (WA_CREEP)，为 12bit 无符号数，缺省为 0x04C。该值与有功功率寄存器值对应关系见下面公式，当输入有功功率信号绝对值小于这个值时，输出有功功率寄存器为零。这可以使在无负载情况下，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
89	VAR_CREEP	12	0x04C	无功防潜动功率阈值

可以根据功率寄存器 WATT 的值设置 WA_CREEP, 他们的对应关系

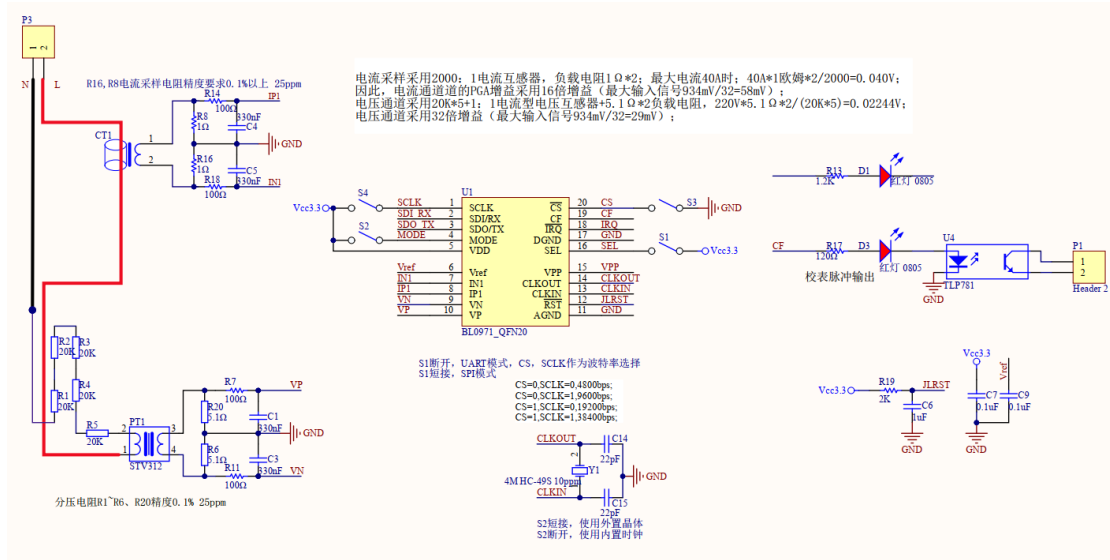
$$WA_CREEP = \frac{WATT}{2} ;$$

WA_CREEP 缺省值为 0x04C；对应的 WATT 有功功率寄存器值=76*2=152；

如果采用 1 毫欧采样电阻，电压采用电阻分压 510K*3+0.1K；防潜阈值对应的实际功率=152/Kp 瓦。

实际应用时可根据应用要求,提高有功防潜动阈值寄存器的设置,比如2瓦以下不要求计量。阈值设置为2W对应的参数。

互感器采样方式



寄存器设置

需要在上电初始化时进行寄存器设置,设置步骤如下:

- 1) Reg40 寄存器(USR_WRPROT)写入 **0x005555**, 允许操作用户寄存器。
- 2) 通道增益配置

采用电流互感器、电压互感器进行信号采样,

如典型应用图上所示,电流互感器变比 2000: 1,最大电流 40A,负载电阻 $1\Omega \times 2$,那么 IP, IN 管脚间的最大信号= $40A \times 1\Omega \times 2 / 2000 = 40mV$; 电流通道可以采用 16 倍增益; 电压互感器为 1: 1, 2mA; 负载电阻 $5.1\Omega \times 2$, 220V 时 VP, VN 管脚间的电压为 22.44mV, 考虑市电可能有 $\pm 20\%$ 的波动,电压通道采用 32 倍增益

0000=1 倍; 0001=2 倍; 0010=8 倍; 0011=16 倍; 0110=24 倍; 0111=32 倍;

(注意:输入通道的最大差分电压 $\pm 175mV_{pp}$ 指的是 8 倍增益,如果使用 32 倍增益,则输入通道的最大差分电压为 $\pm 175mV_{pp} / 4 = \pm 43.75mV_{pp}$, 即约 31mV 有效值)

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]: 电流 B 通道; [11: 8]: 电流 A 通道

所以 **Reg51 寄存器(GAIN)**写入 **0x337**

- 3) 其他配置寄存器

逻辑输出管脚配置 (CF 管脚功能), 在 Reg43 寄存器 (MODE_OUT) 进行配置;

降功耗配置, 可以通过 Reg49 寄存器 (ADC_PD) 关闭未使用的采样通道;

关于电参数转换

假设电流互感器 CT1 的变比为 $R_t=2000$ (2000:1)，负载电阻 R_{16} , R_8 (1 欧*2)；电压互感器 (PT1) 为 1:1 的电压型电压互感器；负载电阻 R_6 , R_{20} (5.1 欧*2)， $R_1\sim R_5$ 均为 20K；

$$\text{实际电流值} = \frac{\text{电流有效值寄存器值} * V_{ref}}{6923 * (R_{16} + R_8) * GAIN_I * 1000 / R_t} \quad \text{安培} \rightarrow \text{电流系数 } K_i = \frac{6923 * (R_{16} + R_8) * GAIN_I * 1000 / R_t}{V_{ref}}$$

$$\text{实际电压值} = \frac{\text{电压有效值寄存器值} * V_{ref} * (R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5)}{6704 * (R_6 + R_{20}) * GAIN_V * 1000} \quad \text{伏} \rightarrow \text{电压系数 } K_v = \frac{6704 * (R_6 + R_{20}) * GAIN_V * 1000}{V_{ref} * (R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5)}$$

$$\text{实际有功功率值} = \frac{\text{有功功率寄存器值} * V_{ref}^2 * (R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5)}{11.073 * ((R_{16} + R_8) * GAIN_I * 1000 / R_t) * (R_6 + R_{20}) * GAIN_V * 1000} \quad \text{瓦} \rightarrow \text{功率系数}$$

$$K_p = \frac{11.073 * ((R_{16} + R_8) * GAIN_I * \frac{1000}{R_t}) * (R_6 + R_{20}) * GAIN_V * 1000}{V_{ref}^2 * (R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5)}$$

CF_CNT 寄存器中存放的是电能脉冲个数；

$$\text{每个电能脉冲对应的电量} = \frac{4194304 * 0.032768 * 32}{3600000 * CFDIV * K_p} \quad \text{度}$$

$V_{ref}=1.0975$ 伏； $CFDIV=16$ ； $GAIN_I=32$ ， $GAIN_V=32$ ；

有功功率防潜动阈值设置参照电阻采样方式说明；

电网频率转换

BL0971 通过电压测量通道的信号进行电网频率测量

地址	名称	外部 读/写	内部 读/写	位 宽	默认值	描述
35	PERIOD	R	W	20	0x000000	线电压频率周期寄存器

$$\text{电网频率} = \frac{10000000}{PERIOD} \text{Hz}$$

直流电能测量

应用电路图：

参考交流电阻采样的典型应用图；

设置直流测量模式

BL0971 支持直流信号测量，如果测量直流电能，需要在上电初始化时进行寄存器设置，设置步骤如下：

- 1) Reg40 寄存器(USR_WRPROT)写入 **0x005555**，允许操作用户寄存器。
- 2) Reg44 寄存器 MODE

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]电流 B，[5:4]电流 A，
[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
[12]	VA_SEL	1'b0	va 算法选择：0-rmsi*rmsv； 1-(watt^2+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

有效值波形选择直流；有功波形选择不过高通（全波，交流+直流）

Reg44 寄存器(MODE)写入 0x02AE;

此时芯片切换到直流测量模式。

3) GAIN 通道增益选择

(0010=8 倍, 0011=16 倍; 0110=24 倍; 0111=32 倍;)

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]: 电流 B 通道 [11:8]: 电流 A 通道

以电阻采样方式典型应用图为例，1000V DC，最大电流 20A，

电压输入管脚的信号=1000V*0.1K/(510K*9+0.1K)≈0.021786V

电流输入管脚最大输入信号=20A*0.001 欧=0.02V

因此电压通道、电流通道增益均可设置为 32 倍增益（32 倍增益时通道允许输入最大信号 0.031V）

Reg51 寄存器 (GAIN) 写入 0x777;

5) 其他配置寄存器

直流偏置的校正

由于 BL0971 内部不具备高压隔离，只能在直流地低侧进行测量。如果需要对直流偏置进行修正，则在通道不加信号（零信号输入）时进行。

1) 读相应的波形寄存器值 X_WAVE;

2) 根据波形寄存器值计算对应的 CHOS 寄存器值

$$X_CHOS = 0x10000 - X_WAVE;$$

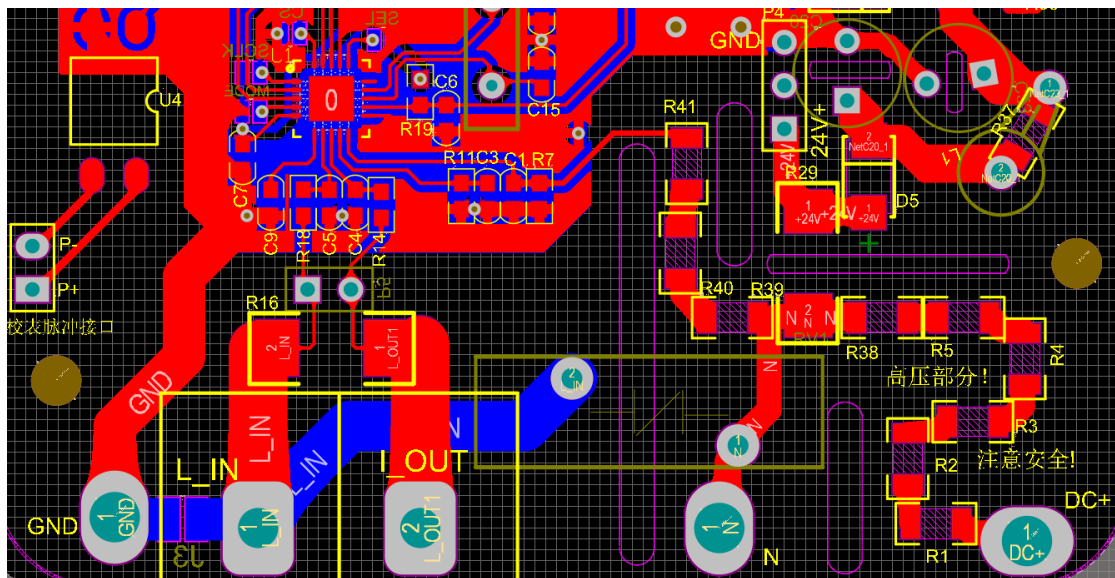
(备注: CHOS 寄存器对应的波形寄存器值修正范围-32767~32767, 超出补偿范围的无法修正。)

地址	名称	位宽	默认值	描述
5A	IA_CHOS	16	0x0000	电流 A 通道偏置调整寄存器, 补码
5B	IB_CHOS	16	0x0000	电流 B 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

PCB 设计注意事项

在 PCB 布线时需要注意:

- 1) 电流采样的电阻、电容尽量靠近 BL0971 管脚, 防止引线过长, PCB 板上其他信号线的干扰;
- 2) 为减少对电流采样信号的干扰, 采样电阻的地线与电源地分开走线; 电流通道为差分采样, IP, IN 的信号走线平行靠近, PCB 板上走线尽量短, 电流采样 IP, IN 的外接电路参数尽量平衡。
- 3) 电阻采样方式时, 如果采用贴片采样电阻, 电流采样走线从电阻焊盘内侧出线。



- 4) 电阻采样方式时, 由于负载电流是大电流流过采样电阻, 因此需要注意负载电流最大可能到几十安, 在 PCB 板上连接采样电阻的走线尽量粗
- 5) 电压采样的电阻分压网络由于是将高电压降到几十 mV 左右, 注意分压电阻的耐压是否满足要求, 同时考虑爬电距离; 与电流采样走线隔开距离, 防止信号串扰
- 6) BL0971 的电源 3.3V 的去耦电容 C7 尽量靠近芯片 VDD 管脚; Vref 外接的去耦

电容 C9 尽量靠近芯片管脚;

校准方法

如果采样元件的精度较差或需要达到 1% 以内的精度，可以用标准信号比对法或在电能表检测专用设备上进行校准;

以标准信号比对法为例，假如电流，加标准的负载电流，对应电流有效值寄存器值为 I_{RMS0} ，根据标准负载电流及前述的公式可以计算出对应的电流寄存器标准值 I_{RMS1} ;

$$\text{则偏差 } Err = \frac{I_{RMS0} - I_{RMS1}}{I_{RMS1}}$$

可采用两种方式校准

1) 写入校准参数到对应通道增益寄存器 Reg69(I_CHGN), Reg6B(V_CHGN);

$$\text{如果 } Err \text{ 为负值, 则 } CHGN[I] = 2^{16} * \frac{-Err}{1+Err}$$

$$\text{如果 } Err \text{ 为正值, 则 } CHGN[I] = 2^{16} + 2^{16} * \frac{-Err}{1+Err}$$

2) 调整公式中的电阻参数，对转换系数进行修正;

$$RL \text{ 修正} = (1 - Err) * RL$$

如果小信号偏置需要进行补偿修正，在标准负载电流修正的前提下，施加小信号电流，对响应的小信号偏置寄存器进行写值修正。

参考文献: BL0971_Datasheet_Vx.x.pdf

直流两点法校准: $Y = K(X + B)$;

分别加两组信号，例如

1) 200V, 10A; 读此时的电压寄存器值 V_{RMS1} ，电流寄存器值 I_{RMS1} ；根据前文公式计算对应的电压寄存器值标准值 V_{RSM1_S} ，电流寄存器标准值 I_{RMS1_S} ;

2) 40V, 0.5A; 读此时的电压寄存器值 V_{RMS2} ，电流寄存器值 I_{RMS2} ；根据前文公式计算对应的电压寄存器值标准值 V_{RSM2_S} ，电流寄存器标准值 I_{RMS2_S} ;

3) 以电压为例说明:

$$\text{偏置补偿公式: } B = \frac{(v_{rms2_s} * v_{rms1} - v_{rms1_s} * v_{rms2})}{(V_{RMS1_S} - V_{RMS2_S})}$$

如果 $B \geq 0$ ，那么将 $B/2$ 写入 V_CHOS 寄存器;

如果 $B < 0$ ，那么将 $2^{16} + B/2$ 写入 V_CHOS 寄存器

$$\text{增益补偿公式: } K = \frac{V_{RMS1_S}}{V_{RMS1} + B}$$

如果 $(1 - K) \geq 0$ ，那么将 $2^{16} + 2^{16} * (K - 1)$ 写入 V_CHGN 寄存器;

如果 $(1 - K) < 0$ ；那么将 $2^{16} * (K - 1)$ 写入 V_CHGN 寄存器;

电流的校准方式类似。

备注: 进行校准时, 请先确认 V_CHGN 、 I_CHGN 、 V_CHOS 、 I_CHOS 寄存器值为 0x000000;