

◆ 特点

- ✿ 高精度，在输入动态工作范围（1000:1）内，有功功率非线性测量误差小于 0.1%
- ✿ 在输入动态工作范围（500:1）内，电流有效值绝对测量误差小于 0.1%
- ✿ 在输入动态工作范围（500:1）内，电压有效值绝对测量误差小于 0.3%
- ✿ 低速模式下脉冲输出高稳定性，输出频率波动小于 0.2%。另具有高速脉冲输出模式，可以用于高速校验
- ✿ 精确测量正、负两个方向的有功功率，且以同一方向计算电能，以快速脉冲输出 CF
- ✿ 精确测量视在功率，并以快速脉冲输出 CF_VA
- ✿ 精确测量电流电压有效值，并以快速脉冲输出 CF_I 和 CF_V
- ✿ 防窃电功能，逻辑输出脚 REVP 用于显示反向用电或者错误用电状况
- ✿ 芯片上有电压检测电路，检测掉电状况
- ✿ 具有防潜动功能
- ✿ 芯片上带参考电压源 $2.5V \pm 8%$ （温度系数典型值 $30\text{ppm}/^\circ\text{C}$ ），也可以使用外部电压源
- ✿ 芯片上带晶振时钟（芯片内置晶振）
- ✿ 单工作电源 5V，低功耗 20mW（典型值）

注：相关专利申请中。

◆ 概述

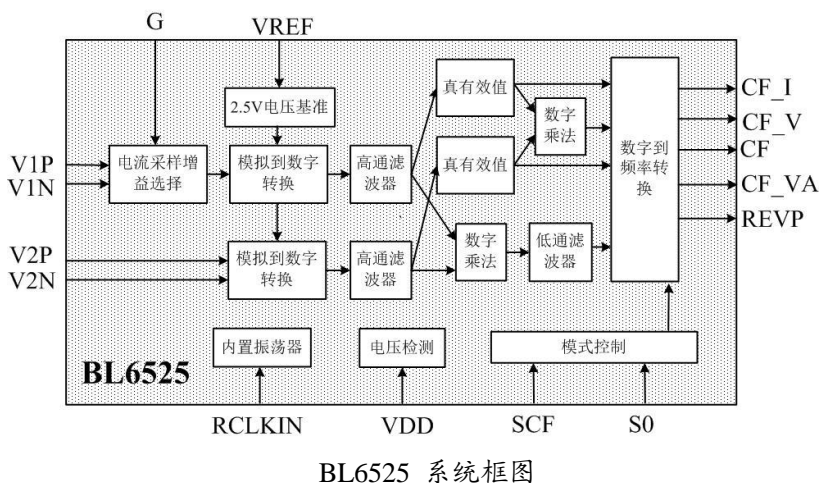
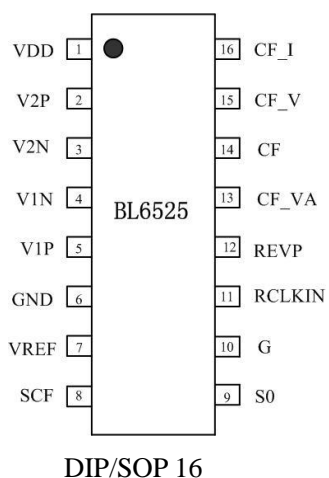
BL6525 集成电路是电子式电度表的核心计量芯片，它在设计上采用了过采样和数字信号处理技术，从而大大地提高了芯片的测量准确度。同时，在 A/D 转换后的数据均由数字电路进行运算和处理，保证了芯片的长期稳定性。基于此芯片设计的电子式电度表具有外围电路简单、精度高、稳定性好等特点，适用于单相两线电力用户的电能计量。

BL6525 对正反向有功功率、视在功率和电流电压有效值均可测量，且可将有功功率、视在功率及电流电压有效值转换成与输入信号成正比的脉冲输出，同时在芯片引脚(REVP)上给出了反向用电指示。因此，用 BL6525 制成的电子式电度表可以完全符合新一代国家电网要求。

在 BL6525 中充分考虑到兼顾电度表潜动和起动力性能的不同要求，采用了合理的数字化的防潜动阀值设计，在保证可靠地防止潜动的前提下，使启动电流远低于标准要求。

在 BL6525 中可以给出高速脉冲，对应最大输入情况下，高速脉冲输出可以达到 15kHz 左右，方便数字校验。

◆ 管脚与框图



◆ 管脚描述

管脚号	符号	说明
1	VDD	正电源 (+5V)，提供模拟数字部分电源，正常工作时电源电压应该保持在 $5V \pm 5\%$ 之间。
2, 3	V2P, V2N	电压采样信号的正，负输入脚。最大差分输入电压为 $\pm 660mV$ 。
4, 5	V1N, V1P	电流采样信号的负，正输入脚。最大差分输入电压为 $\pm 660mV$ 。
6	GND	电路的接地点。
7	VREF	参考电压调整端，片内基准电压标称值在 $2.5 \pm 8\%$ ，温度系数典型值为 $30ppm/^{\circ}C$ 。允许使用外部 2.5V 电压输入。
8	SCF	模式选择，通过 SCF, S0 的组合可以给出 4 种不同的输出频率。
9	S0	模式选择，通过 SCF, S0 的组合可以给出 4 种不同的输出频率，为电表校验提供帮助。具体数值见后面。
10	G	用来选择电流通道的系统增益，增益选择具体数值见后面。
11	RCLKIN	外接 6.2K 低温度系数电阻。
12	REVP	负向有功功率指示信号，当电流通道的电压通道输入信号的相位差大于 90° 时，该脚输出高电平。
13	CF_VA	校验脉冲输出脚，输出频率正比与视在功率的大小，可以有 4 种选择。
14	CF	校验脉冲输出脚，输出频率正比与有功功率的大小，可以有 4 种选择。
15	CF_V	校验脉冲输出脚，输出频率正比与瞬态电压有效值，可以有 4 种选择。
16	CF_I	校验脉冲输出脚，输出频率正比与瞬态电流有效值，可以有 4 种选择。

◆ 极限范围

(T = 25 °C)

项目	符号	极值	单位
模拟数字电源电压 VDD	VDD	-0.3~+7(max)	V
VDD 变化		-0.3~+0.3	V
输入电压(相对于 GND)	Vv	$VSS+0.5 \leq Vv \leq VDD-0.5$	V
工作温度	Topr	-40~+75	$^{\circ}C$
贮藏温度	Tstr	-55~+150	$^{\circ}C$
功耗 (SOP16)		350	mW

◆ 电参数

(T=25°C, VDD= 5V)

测量项目	符号	测量条件	测量点	最小	典型	最大	单位
1 电源电流	I_{VDD}	VDD=5V	Pin1	0.5	4	5	mA
输入高电平	V_{IH}			2			V
输入低电平	V_{IL}					1	V
输入电容	C_{IN}					10	pF
2 逻辑输出脚 CF, CF_VA, CF_I, CF_V			Pin13, 14, 15, 16				
输出高电平	V_{OH2}	$I_H=10mA$		4.4			V

输出低电平	V_{OL2}	$I_L=10mA$				0.5	V
输出电流	I_{O2}				10		mA
3 逻辑输出脚 REVP			Pin12				
输出高电平	V_{OH2}	$I_H=5mA$		4.4			V
输出低电平	V_{OL2}	$I_L=5mA$				0.5	V
输出电流	I_{O2}				5		mA
4 基准参考电压	V_{ref}	$VDD=5V$	Pin7	2.3	2.5	2.7	V
温度系数					30		ppm/°C
5 模拟输入脚 V1P, V1N V2N, V2P			Pin2, 3, 4, 5				
最大输入电平	V_{AIN}					±1	V
直流输入阻抗					330		Kohm
输入电容				6		10	pF
6 精度							
两个通道相位误差							
电流超前 37°C (PF=0.8 容性)			Pin14		0.1		度(°)
电流滞后 60°C (PF=0.5 感性)			Pin14		0.1		度(°)
7 防潜阈值		$I_b=5A$ $C=1400$	Pin14	0.0015		0.003	%
8 正、负向有功功率 测量误差	ENP	$V_v=\pm 110mV$ $V(I)=2mV$ $\cos\phi=\pm 1$	Pin14			0.1	%
9 电源监控电路检 测电平(掉电检测电 平)	V_{down}	电源从 3.5V ~ 5V 变化, 电流电压通 道满幅输入	Pin14	3.9	4	4.1	V

指标说明

1)非线性误差%

BL6525 的电压通道输入固定 Pin3, pin2 之间交流电压 V_v 为 110mV, 功率因数 $\cos\phi=1$, Pin5 与 Pin4 之间电压 V_i 在对应与 2% I_b ~3000% I_b 范围内, 任何一点输出频率相对于 I_b 点的测量非线性误差小于 0.1%

$$e_{NL}\% = [(X \text{ 点误差}\% - I_b \text{ 点误差}\%) / (1 + I_b \text{ 点误差}\%)] * 100\%$$

2)防潜阈值

典型情况下, CF 输出所代表的最小功率为满量程 (电流及电压输入都满刻度, 都为 473mV 有效值) 输出的 0.0015%, 对于低于该阈值的功率, 不输出计量脉冲。

3) 正负输入功率

指 Pin3-Pin2 间的电压采样信号 $V(V)$ 与 Pin5-Pin4 间的电流通道输入信号 $V(I)$ 乘积 $V(V)*V(I)*\cos\phi$ 的符号, 大于零为正功, 小于零为负功。

4) 正、负向有功功率误差%

在相等的有功功率条件下，在 $V(V)=\pm 110\text{mV}$ 、 $V(I)$ 对应 $I_b(5\text{A})$ 点，BL6525 测得的负向有功功率与正向有功功率之间的相对误差：

$$eNP\% = \frac{eN\% - eP\%}{1 + eP\%} \times 100\%$$

$eP\%$: 正向有功功率误差； $eN\%$: 负向有功功率误差。

5) 电源监控电路检测电平（掉电检测电平）

片内电源监测电路检测电源变化情况，当电源电压低于 4 伏左右时，内部电路被复位。当电源电压超过该值时，电路恢复工作在正常状态。

◆ 输出脉冲时序特性

($V_{DD}=5\text{V}$, $GND=0\text{V}$, 使用片内基准电压源, 片内晶振时钟 CLK, 温度 $-40\sim+85^\circ\text{C}$)

1) 在低速模式 S0, SCF=11 时

输出脉冲 CF, CF_VA, CF_I 和 CF_V 均为高电平脉宽, 在计量小功率和小的电流电压有效值时, CF 定脉宽为 75ms。当计量大功率和大的输入电流电压时, CF, CF_VA, CF_I 和 CF_V 输出周期小于 75ms 时, CF 的脉宽为周期的一半。

2) 在高频模式 S0, SCF=01 和 10 和 11 时

CF, CF_VA, CF_V 的输出脉宽为 16us。(片内晶振时钟 CLK = 500KHz)

注: 以上技术指标随以后设计及工艺的改变会有所变化, 请随时关注最新的技术规范。

◆ 工作原理

◆ 电能计量原理

电能计量主要把输入的电压和电流信号按照时间相乘, 得到功率随着时间变化的信息, 假设电流电压信号为余弦函数, 并存在相位差 Φ , 功率为:

$$p(t) = V \cos(\omega t) \times I \cos(\omega t + \Phi)$$

令 $\Phi = 0$ 时:

$$p(t) = \frac{VI}{2} (1 + \cos(2\omega t))$$

令 $\Phi \neq 0$ 时:

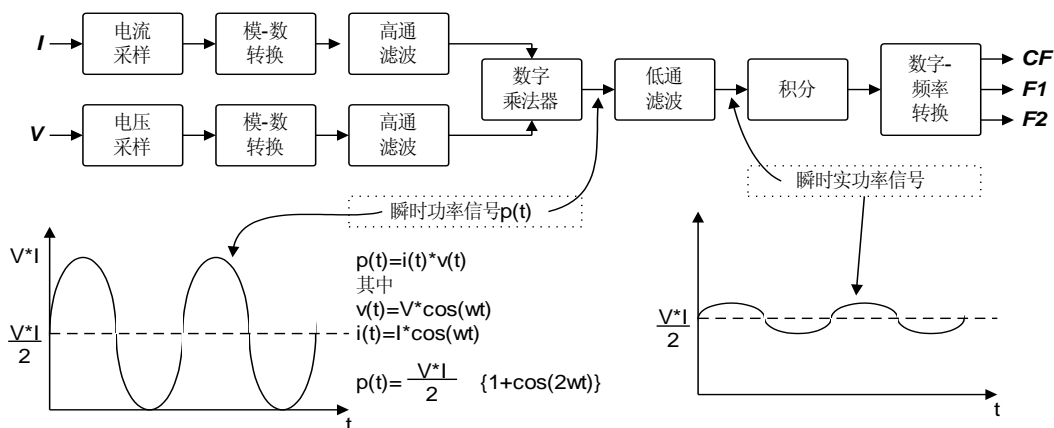
$$\begin{aligned} p(t) &= V \cos(\omega t) \times I \cos(\omega t + \Phi) \\ &= V \cos(\omega t) \times [I \cos(\omega t) \cos(\Phi) + \sin(\omega t) \sin(\Phi)] \\ &= \frac{VI}{2} (1 + \cos(2\omega t)) \cos(\Phi) + VI \cos(\omega t) \sin(\omega t) \sin(\Phi) \\ &= \frac{VI}{2} (1 + \cos(2\omega t)) \cos(\Phi) + \frac{VI}{2} \sin(2\omega t) \sin(\Phi) \end{aligned}$$

$p(t)$ 称为即时功率信号, 理想的 $p(t)$ 只包括两部分: 直流部分和频率为 2ω 的交流部分。前者又称为即时实功率信号。即时实功率是电能表测量的首要对象。

◆ 有功电能计量信号流

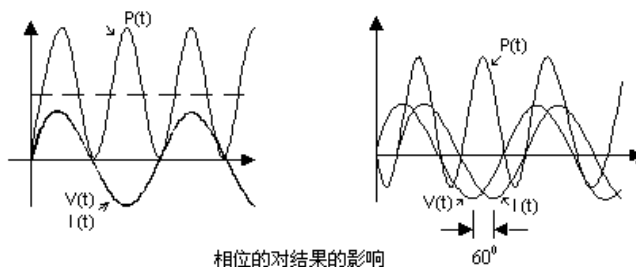
在通过对电流电压信号高精度采样及模数转换后, 电流电压信号通过数字乘法器得到瞬态功率信号 $p(t)$ 。让 $p(t)$ 通过一个截至频率很低 (如 1Hz) 的取直低通滤波器, 把即时实功率信号取出来。然后对该实功率信号对时间进行积分, 得到能量的信息。如果选择积分时间十分的短, 可以

认为得到的是即时能量消耗的信息，也可以认为是即时功率消耗的信息，因为前后两者成正比关系。如果选择的较长的积分时间，得到的是平均的能量消耗的信息，同样也可以认为是平均功率消耗的信息。

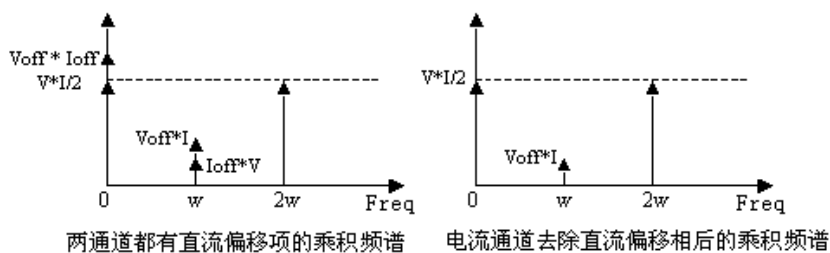


取直低通滤波器的输出会被送到一个数字-频率转换的模块，在这里即时实功率会根据要求作长时或短时的积分（即累加计数），转换成与周期性的脉冲信号，这就是电子电能表的基本输出信号。输出的脉冲信号的频率与能量消耗的大小成正比。输出脉冲送到片外的计数马达，并最终得到能量消耗的大小的计数值。

可以看出计算出的即时实功率与电压和电流信号的相位差的余弦值 $\cos(\Phi)$ 的有关，该余弦值被称为这两路信号的功率因子。



◆ 输入的直流成分对测量结果的影响



假设电压和电流输入直流成分分别是 V_{os} 和 I_{os} ，且功率因子等于 1 ($\Phi = 0$ 度)

$$p(t) = (V \cos(\omega t) + V_{os}) * (I \cos(\omega t) + I_{os})$$

$$= V * I / 2 + V_{os} * I_{os} + V_{os} * I \cos(\omega t) + I_{os} * V \cos(\omega t) + (V * I) / 2 * \cos(2\omega t)$$

令 $I_{os} = 0$

$$p(t) = (V \cos(\omega t) + V_{os}) * (I \cos(\omega t) + 0)$$

$$= V * I / 2 + V_{os} * 0 + V_{os} * I \cos(\omega t) + 0 * V \cos(\omega t) + (V * I) / 2 * \cos(2\omega t)$$

$$= V * I / 2 + V_{os} * I \cos(\omega t) + (V * I) / 2 * \cos(2\omega t)$$

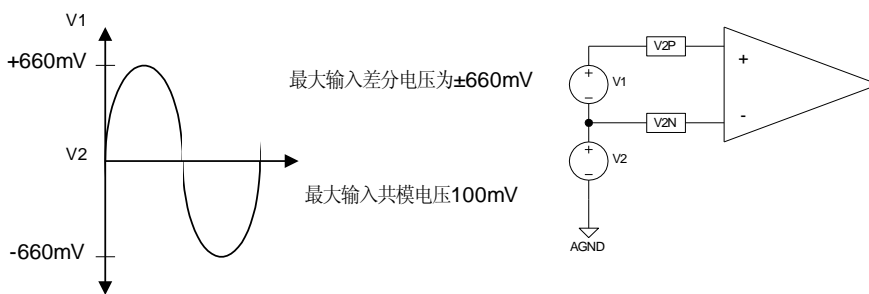
从上面的计算看到：如果输入的两路信号同时具有直流成分，会给即时实功率，即乘积的直

流部分带来 $V_{os} * I_{os}$ 的误差，还有在 ω 频率处出现 $V_{os} * I + I_{os} * V$ 的分量，前者必然引起测量误差，而后者也会当取直低滤波器的对 ω 抑制不够时影响即时实功率的输出，带来大的波动。

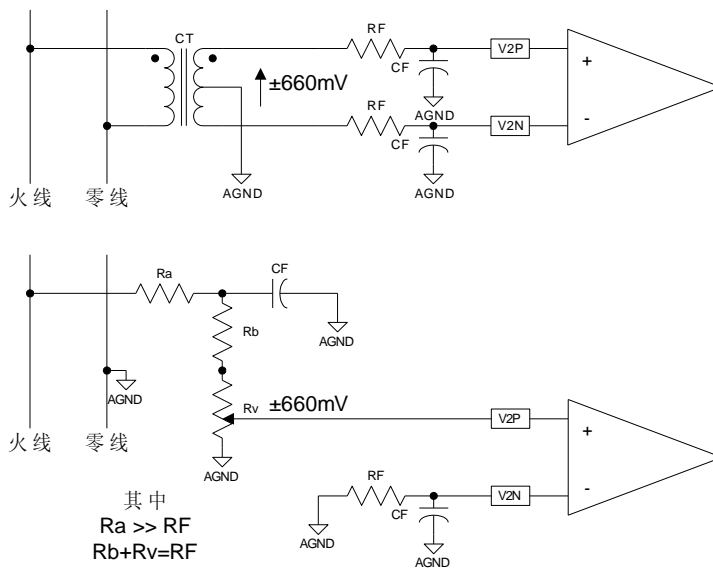
而当电压或电流中的一路经过数字高通滤波器后，如去掉电流采样信号的直流偏移项。这时仅有一路输入有直流成分时，乘法的结果有了很大的改善：没有了直流误差， ω 频率处的分量也减少了。

◆ 电压通道输入

电压通道允许最大输入差分电压为 $\pm 660mV$ ，共模电压 100mV。然而，共模电压为 0V 时效果最好。



电压通道的典型连接电路如下图所示，其中，第一种是用 PT (电压互感器)，第二种是用电阻分压网络提供电压信号。



◆ 电流通道输入

电流通道允许最大输入差分电压为 $\pm 660mV$ ，共模电压 100mV。然而，共模电压为 0V 时效果最好。

◆ 有效值计算

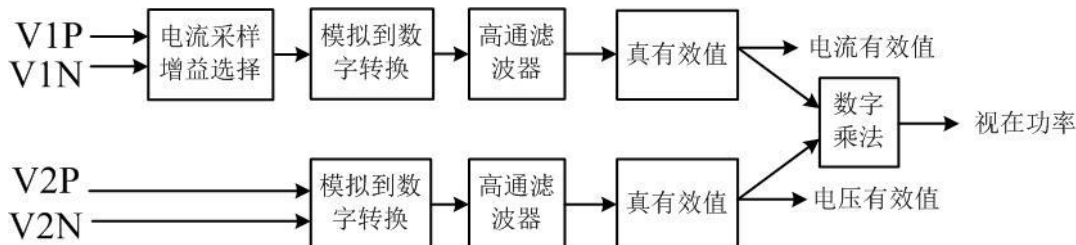
有效值也就是信号的均方根 (Root Mean Square - RMS)，一个连续信号的均方根计算如下：

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T V^2(t) dt}$$

对于数字信号，该公式变为：

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N V^2(i)}$$

BL6525 中电流电压有效值通过以下信号流实现，其中真有效值通过平方，滤波和开根号来实现。



◆ 工作方式

◆ 工作模式选择

Pin8 (SCF), Pin9 (S0) 是 BL6525 芯片模式选择管脚，可以通过接不同的电压 (+5V, 0V) 来调整芯片的工作模式。

电流通道允许最大输入差分电压为±660mV (有效值 467mV)，最大共模电压 100mV。

电压通道允许最大输入差分电压为±660mV (有效值 467mV)，最大共模电压 100mV。

Pin13 (CF_VA), Pin14 (CF), Pin15 (CF_V), Pin16 (CF_I) 的输出频率与 Pin8 (SCF), Pin9 (S0) 输入脚关系如下表所示:

模式 S0, SCF	输入等效 Ib	电流输入端 V (I) 输入信号有效值 (V)	电压输入端 V (V) 输入信号有效值(V)	CF 频率 (HZ)	CF_VA 频率 (HZ)	CF_I 频率 (HZ)	CF_V 频率 (HZ)
S0, SCF=11	100%	0.028	0.1165	1	1	3	8
	1600%	0.448	0.466	64	64	48	32
S0, SCF=10	100%	0.028	0.1165	256	256	384	512
	1600%	0.448	0.1165	4096	4096	6144	512
	1600%	0.448	0.17475	6144	6144	6144	768
S0, SCF=01	100%	0.028	0.1165	512	512	768	512
	1600%	0.448	0.1165	8192	8192	12288	512
	1600%	0.448	0.17475	12288	12288	12288	768
S0, SCF=00	100%	0.028	0.1165	1024	1024	1536	1024
	1600%	0.448	0.1165	16384	16384	24576	1024
	1600%	0.448	0.17475	24576	24576	24576	1536

◆ 芯片工作计算公式

BL6525 对输入的电压和电流两个通道的输入电压求乘积，并通过信号处理，把获取的有功功率、视在功率和电流电压有效值信息转换成频率。以高电平有效的方式从 CF, CF_VA, CF_I, CF_V 脚分别输出与有功功率和视在功率相关的频率信号。

1)功率的输出脉冲 (CF 和 CF_VA) 计算公式 (PF=1 时候):

$$\text{Freq} = V(I) * V(V) * G * F / V_{ref}^2$$

Freq——引脚 CF 输出脉冲频率

V(V)——电压通道的输入电压的有效值

V(I)——电流通道的输入电压有效值

Vref——基准电压 (2.5±8%)

F——分频系数由 SCF 和 S0 确定

G----电流通道的系统增益，由 G 的逻辑输入决定

模式 S0, SCF	输入等效 Ib	电流输入端 V (I) 输入信号有效值 (V)	电压输入端 V (V) 输入信号有效值(V)	F	CF 频率 (HZ)	CF_VA 频率 (HZ)
S0, SCF=11	100%	0.028	0.1165	1916.0	1	1
	1600%	0.448	0.466	1916.0	64	64
S0, SCF=10	100%	0.028	0.1165	490496.6	256	256
	1600%	0.448	0.1165	490496.6	4096	4096
	1600%	0.448	0.17475	490496.6	6144	6144
S0, SCF=01	100%	0.028	0.1165	980993.3	512	512
	1600%	0.448	0.1165	980993.3	8192	8192
	1600%	0.448	0.17475	980993.3	12288	12288
S0, SCF=00	100%	0.028	0.1165	1961986.5	1024	1024
	1600%	0.448	0.1165	1961986.5	16384	16384
	1600%	0.448	0.17475	1961986.5	24576	24576

2) 电流有效值的输出脉冲 (CF_I) 计算公式:

$$\text{Freq} = V(I) * G * F_i / V_{\text{ref}}$$

Freq——引脚 CF 输出脉冲频率

V(I)——电流通道的输入电压有效值

Vref——基准电压 (2.5±8%)

F_i——分频系数由 SCF 和 S0 确定

G----电流通道的系统增益，由 G 的逻辑输入决定

模式 S0, SCF	输入等效 Ib	电流输入端 V (I) 输入信号有效值 (V)	F _i	CF_I 频率 (HZ)
S0, SCF=11	100%	0.028	267.9	3
	1600%	0.448	267.9	48
S0, SCF=10	100%	0.028	34285.7	384
	1600%	0.448	34285.7	6144
	1600%	0.448	34285.7	6144
S0, SCF=01	100%	0.028	68571.4	768
	1600%	0.448	68571.4	12288
	1600%	0.448	68571.4	12288
S0, SCF=00	100%	0.028	137142.9	1536
	1600%	0.448	137142.9	24576
	1600%	0.448	137142.9	24576

3)电压有效值的输出脉冲 (CF_V) 计算公式:

$$\text{Freq} = V(V) * F_v / V_{\text{ref}}$$

Freq——引脚 CF 输出脉冲频率

V(V)——电压通道的输入电压有效值

V_{ref}——基准电压 (2.5±8%)

F_v——分频系数由 SCF 和 S0 确定

模式 S0, SCF	输入等效 I _b	电压输入端 V (V) 输入信号有效值(V)	F _v	CF_V 频率 (HZ)
S0, SCF=11	100%	0.1165	171.7	8
	1600%	0.466	171.7	32
S0, SCF=10	100%	0.1165	10987.1	512
	1600%	0.1165	10987.1	512
	1600%	0.17475	10987.1	768
S0, SCF=01	100%	0.1165	10987.1	512
	1600%	0.1165	10987.1	512
	1600%	0.17475	10987.1	768
S0, SCF=00	100%	0.1165	21974.2	1024
	1600%	0.1165	21974.2	1024
	1600%	0.17475	21974.2	1536

注: F, F_i, F_v 的值与工艺偏差有关, 具体须根据实际测量值修正。

◆ 系统增益选择

通过选择数字输入端 G 的输入电平 (5V 或 0V), 可以调整电流通道的系统增益, 在增大系统增益的同时, 减小了输入的动态范围, 具体选择见下表: (缺省为 0)

G	增益	最大输入差分电压
1	1	±660mV
0	16	±41mV

注: 由于工艺和设计变化等原因所引起的以上规范的变化, 不另行通知。请随时索取最新版本的产品规范。