



CS7730 用户手册

Rev: 1.0

通讯地址: 深圳市南山区南海大道 1079 号花园城数码大厦 A 栋 9 楼

邮政编码: 518067

公司电话: +(86 755) 86169257

传真: +(86 755) 86169057

公司网站: www.chipsea.com

历史修改记录

时间	记录	版本号
2012-12-24	换新 LOGO 初稿完成	1.0

目录

历史修改记录	- 2 -
目录	- 3 -
主要特点	- 4 -
功能概述	- 5 -
系统框图	- 6 -
管脚封装图	- 6 -
管脚描述	- 7 -
性能指标及特性	- 7 -
时序特性	- 8 -
工作原理	- 10 -
电能信号流	- 10 -
功率因数影响	- 11 -
模拟输入	- 12 -
电流通道	- 12 -
电压通道	- 13 -
典型连接图	- 14 -
电能表连接	- 14 -
电源检测	- 17 -
高通滤波与失调电压影响	- 17 -
数字到频率转换	- 18 -
三相有功电能的叠加模式	- 19 -
传递函数	- 20 -
F1、F2 输出频率	- 20 -
工作模式选择	- 21 -
CF 输出频率	- 21 -
无接入负载潜动	- 21 -
起动电流	- 22 -

主要特点

高精度，在输入动态工作范围（500: 1）内，非线性测量误差小于 0.1%

快速数字脉冲（CF）输出瞬时有功功率，用于计算机数据处理和仪表校验

慢速脉冲（F1,F2）输出，能直接驱动步进电机工作

片内集成设计精确时钟电路，有效节省外围电路成本

宽信号输入范围，可以输入 $\pm 500\text{mV}$ 峰峰值

可以进行绝对值求和的方式来计量三相平均功率

能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

低阈值起动，起动电流小于 $0.2\%I_b$

片内集成防潜设计。

片内集成电源检测电路，检测掉电状况

片内集成高精度，高稳定电压源（ $2.4\text{V} \pm 5\%$ ），温度系数小于 25PPM

低功耗，5V 单电源工作，工作时功耗小于 30mW

宽温度工作范围，满足 $-40 \sim 85^\circ\text{C}$ 正常工作

SOP-16 封装。

功能概述

CS7730 是应用于三相电能计量的高精度，高性能的集成电路，采用低功耗 CMOS 工艺设计，因此可以采用三相阻容分压电源，大大降低了生产成本。基于此芯片设计的三相电子式电能表具有电路简单，精度高，稳定性好等特点，适用于三相三线制和三相四线制电力用户的电能计量。

CS7730 采用高精度 ADC 和 DSP 相结合的技术，片内集成高稳定的基准电压，对温度，纹波等外界干扰的敏感度很低，在很恶劣的环境下也能维持高的准备度及稳定度。

CS7730 有测量正向和负向有功功率的功能，它通过采用绝对值和相加的方式来计量有功功率。CF 不仅将瞬时有功功率以较高的频率输出，便于校验及计算机数据处理，同时 F1 和 F2 输出较低的频率脉冲用于驱动步进电机，间接驱动计度器字轮计量电能。

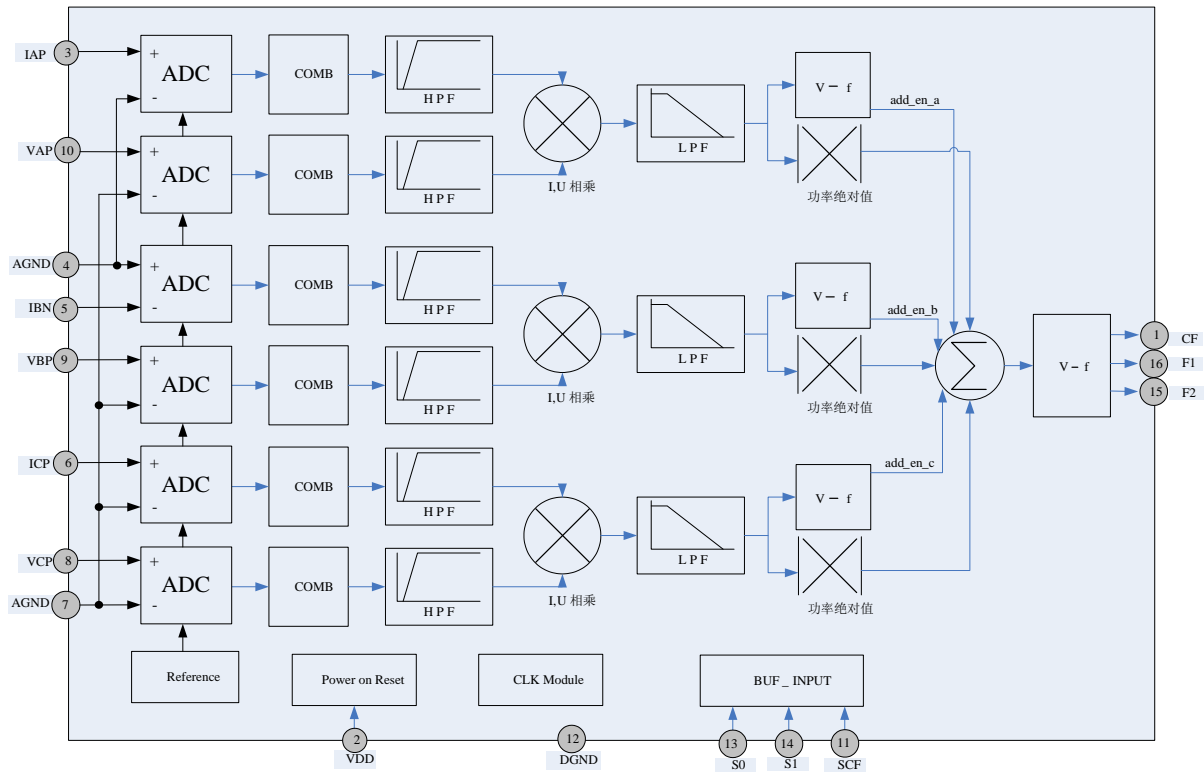
CS7730 片内设计有抗混叠滤波器，最大程度的减少了片外滤波器的要求，使得电压和电流通道的信号在乘法器前的相位得到完全的保证，同时也大大降低了对电阻，电容的精度要求。

片内有电源检测电路，当电源电压降低到 $4V \pm 0.1$ 时，芯片自动复位。

片内集成防潜逻辑，可以保证无潜动输出。

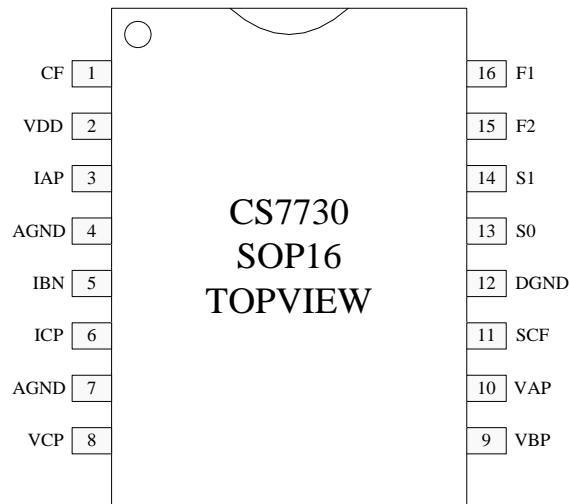
SOP-16 封装，有效降低成本

系统框图



管脚定义及功能描述

管脚封装图



管脚描述

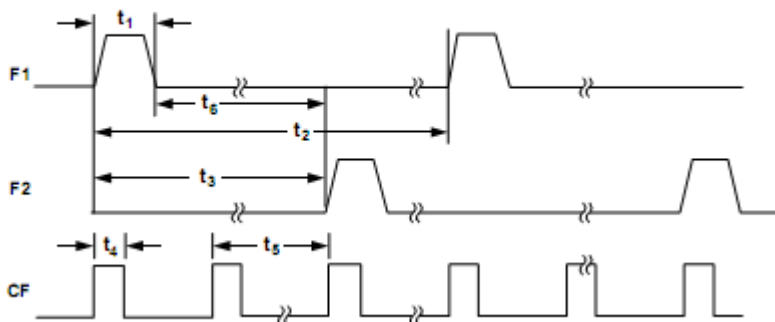
引脚序号	引脚名称	输入/输出	说明
1	CF	输出	高速脉冲校验输出脚, 反映瞬时有功功率大小, 用于仪表校验
2	VDD	输入	模拟和数字电源引脚; 正常工作时电源电压应该为 5V 最佳
3, 5, 6	IAP, IBN, ICP	输入	三相差分电流信号输入; 各相最大差分输入电压值均为 $\pm 500\text{mV}$
4, 7	AGND	输入	内部模拟电路接地点
8, 9, 10	VCP, VBP, VAP	输入	三相电压信号正输入端; 相对于 VN 的最大输入电压均为 $\pm 500\text{mV}$
11	SCF	输入	高频校验选择, 与 S0, S1 组合控制 CF 的输出频率
12	DGND	输入	内部数字电路接地点
13, 14	S0, S1	输入	通过 S1, S0 的组合来控制 F1/F2 的输出频率, 可以针对不同的电表常数选择不同的工作方式
15, 16	F2, F1	输出	低频逻辑输出, 反映平均有功功率大小, 可直接驱动计度器

性能指标及特性

参数名	符号	最小	典型	最大	单位	测试点及条件
极限参数						
电源电压	DVDD	-4.75	5.00	5.25	v	
工作温度	Topr	-40		+85	°C	
储藏温度	Tstr	-55		+150	°C	
功耗					mW	
电参数 (T=25°C, VDD=5V, CLKIN=10.0MHz)						
电源电流	I _{dd}		7		mA	
基准电压	V _{ref}	2.3	2.4	2.6	V	
参考电压温度系数	δ		30	60		ppm/°C
逻辑输出 F1, F2, CF						Pin23, 24, 1, 4
输出高电平	VOH	4.4			V	I _H =10mA
输出低电平	VOL			0.5	V	I _L =10mA
输出电流	IO		10		mA	
逻辑输入 SCF, SO, S1						

输入高电平	VIH	4			V	
输入低电平	VIL			1	V	
输入电容	CIN			10	pF	
逻辑输入 IAP, IBN, ICP, VAP, VBP, VCP						
最大输入电平			± 500		mV	
直流输入阻抗			330		K Ω	
输入电容		6		10		
精度						
测量误差			0.1	0.3		电流通道输入 $\pm 500\text{mV}$ ，动态范围 500: 1
两个通道的相位误差						
电流超前 37 °C (PF=0.8C)			0.1	0.3	%	
电流滞后 60 °C (PF=0.5L)			0.1	0.3	%	
正, 负向有功功率 误差				0.3	%	$\text{Cos } \varphi = \pm 1$, $V_v=100\text{mV}, V_i=5\text{mV}$

时序特性



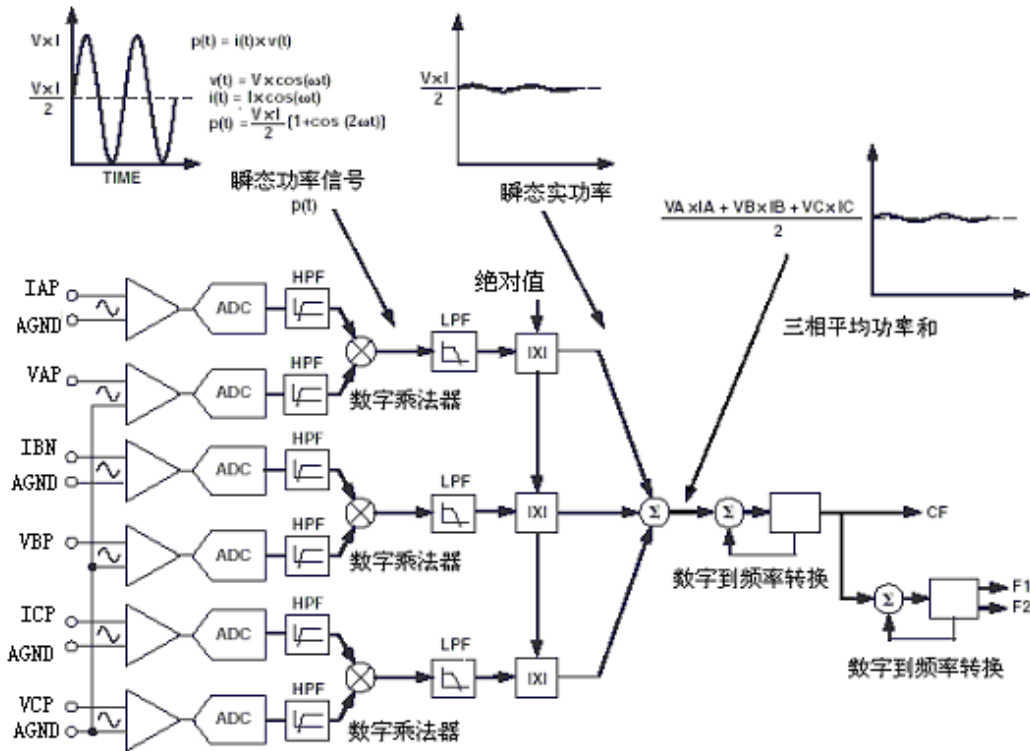
VDD=5V, AGND=DGND=0V, 使用片内基准电压源和晶振, 温度-40~85°C

参数	说明	数值	单位
t1	F1、F2 的高电平脉宽, 在低功率时, F1、F2 输出脉宽为 275ms, 当计量大功率时, F1、F2 输出	275	ms

	周期频率大于 550ms 时, F1、F2 的脉宽为 F1、F2 周期的一半		
t2	F1、F2 输出低速脉冲周期, 详见其计算公式		sec
t3	F1 上升沿到 F2 上升沿之间的时间	$\frac{1}{2}t2$	sec
t4	高速输出脉冲 CF 的高电平脉宽, 在计量小功率时, CF 定脉宽为 96 ms, 当计量大功率时, CF 输出周期小于 192 ms 时, CF 的脉宽为周期的一半	96	ms
t5	CF 输出高速脉冲频率, 详见 CF 与 F1、F2 之间关系 (计算公式及表)		sec
t6	F1、F2 之间的最小时间间隔	$\frac{1}{4}CLKIN$	sec

工作原理

电能信号流



CS7730 内置六通道高精度模数转换器，将三相的电流和电压信号通过采样及模数转换后，通过数字乘法器得到到各相的瞬态功率信号 $P(t)$ 。

设 $I(t) = I \times \cos(\omega \cdot t)$ ， $V(t) = U \times \cos(\omega \cdot t)$ ， 则功率为：

$$P(t) = I(t) \cdot V(t) = \frac{1}{2} \times I \times U \times (1 + \cos(2 \cdot \omega \cdot t))$$

该 $P(t)$ 让通过一个截至频率很低的低通滤波器，把平均功率信号取出来，然后每相功率做代数或绝对值相加，从而获得三相功率和，其流程框图如上所示。

三相功率和的输出会被送到一个数字-频率转换的模块，在这里，平均功率根据要求做长时或短时积分（累加计数），转换成与功率大小成正比的周期性的脉冲信号，这就是

电子式电能表的快速校验输出信号 CF，通过对快速脉冲 CF 的不同分频，可以按照 8 种不同模式获得驱动步进电机的二拍驱动信号 F1 和 F2，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计数值。

功率因数影响

以上是基于电压、电流同步时的计算，对电压、电流有相位差时，同样有效。假设

相差 θ ， $I(t) = I \times \cos(\omega \cdot t)$ ， $V(t) = U \times \cos\left(\omega \cdot t + \frac{\pi}{3}\right)$ ，则功率

$$P(t) = I(t) \cdot V(t) = \frac{1}{2} \times I \times U \times \left(\frac{1}{2} + \cos(2 \cdot \omega \cdot t)\right)$$

该功率信号经过低通滤波后，同样得到正确的有功功率值 $P_{active} = \frac{1}{2} \times I \times U \times \frac{1}{2}$

7.3 非正弦电压输入

本芯片的有功功率计算，同样适合非正弦输入的有功功率计算，根据傅立叶转换，

设定电压为：

$$V(t) = V_0 + \sum_{N \neq 0} V_N \times \sqrt{2} \sin(N \cdot \omega \cdot t + \alpha \cdot N)$$

其中：

$V(t)$ —— 为瞬时电压值

V_0 —— 电压的直流分量

V_N —— 为 N 次电压谐波幅度

$\alpha \cdot N$ —— 为 N 次电压谐波的相位

电流为：

$$I(t) = I_0 + \sum_{N \neq 0} I_N \times \sqrt{2} \sin(N \cdot \omega \cdot t + \beta \cdot N)$$

其中：



$I(t)$ ——为瞬时电流值

I_0 ——电流的直流分量

I_N ——为 N 次电流谐波幅度

$\beta \cdot N$ ——为 N 次电流谐波的相位

有功功率为基波有功功率与所有谐波有功功率的和，即

$$P = P_1 + \sum_{N=2}^{\infty} P_N$$

其中：

$$P_1 = V_1 \times I_1 \times \cos\theta_1 \quad (\theta_1 = \alpha_1 - \beta_1)$$

$$P_N = V_N \times I_N \times \cos\theta_N \quad (\theta_N = \alpha_N - \beta_N)$$

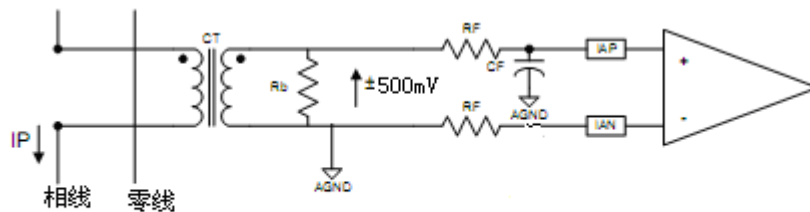
由上式可知：电压、电流中包含的各次谐波功率因数及有功功率都已经计算在内，因此芯片的对非正弦输入的有功功率计算也是正确的。

模拟输入

电流通道

各相电流通过电流互感器转换为电压信号，直接输入芯片内部进行功率计算，电流通道管脚 IAP 和 ICP 相对于 AGND 为正信号输入端，IBN 相对于 AGND 为负信号输入端，其差分峰值最大为 $\pm 500\text{mV}$ ，共模电压可达 $\pm 20\text{mV}$ 。

下图为电流通道 IA 的典型连接方法，需要注意的是，通道中差分信号由电流互感器经负载电阻得到，通过调节电流互感器的变比和采样电阻 R_b ，可以在最大负载时得到峰值的差分电压。



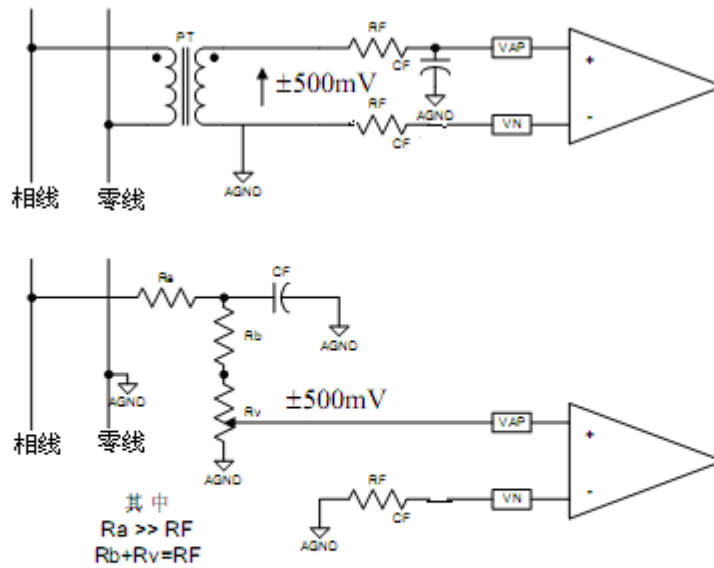
电压通道

各相电压经电压互感器或电阻分压网络连接到 CS7730 的模拟输入，电压通道为一种伪差分输入，是相对于 AGND 接地，VAP、VBP 和 VCP 为正端的差分。

电压通道中的最大输入差分信号为 $\pm 500\text{mV}$ （相对于正弦信号有效值为 353mV ）。

下图为电压通道的两种连接方法，第一种是使用电压互感器 PT 使输入部分与供电线路隔离开来。

第二种方法通过电阻分压来提供与线电压成正比的通道输入信号，调节 R_a , R_b , R_v 的比值，可以方便的进行电表增益校准。在实际中，通过电阻分压网络对电表增益做一次调校。



典型连接图

电能表连接

在三相电力线路中存在三相四线制和三相三线制两种网络，而三相四线制中另外的一条线路是零线，并且电压线路之间彼此的相位相差 $\pm 120^\circ$

$$V_A(t) = \sqrt{2} \times V_A \times \cos(\omega t)$$

$$V_B(t) = \sqrt{2} \times V_B \times \cos(\omega t + \frac{2\pi}{3})$$

$$V_C(t) = \sqrt{2} \times V_C \times \cos(\omega t + \frac{4\pi}{3})$$

其中： V_A ， V_B 和 V_C 为各相电压的电压有效值

$$I_A(t) = \sqrt{2} \times I_A \times \cos(\omega t + \psi_A)$$

$$I_B(t) = \sqrt{2} \times I_B \times \cos(\omega t + \frac{2\pi}{3} + \psi_B)$$

$$I_C(t) = \sqrt{2} \times I_C \times \cos(\omega t + \frac{4\pi}{3} + \psi_C)$$

其中： I_A ， I_B 和 I_C 为各相电压的电流有效值， ψ_A ， ψ_B ， ψ_C 为各相电流相对电压的相位差

因此瞬时有功功率可以计算为

$$P_A(t) = V_A(t) \times I_A(t)$$

$$P_B(t) = V_B(t) \times I_B(t)$$

$$P_C(t) = V_C(t) \times I_C(t)$$

即：

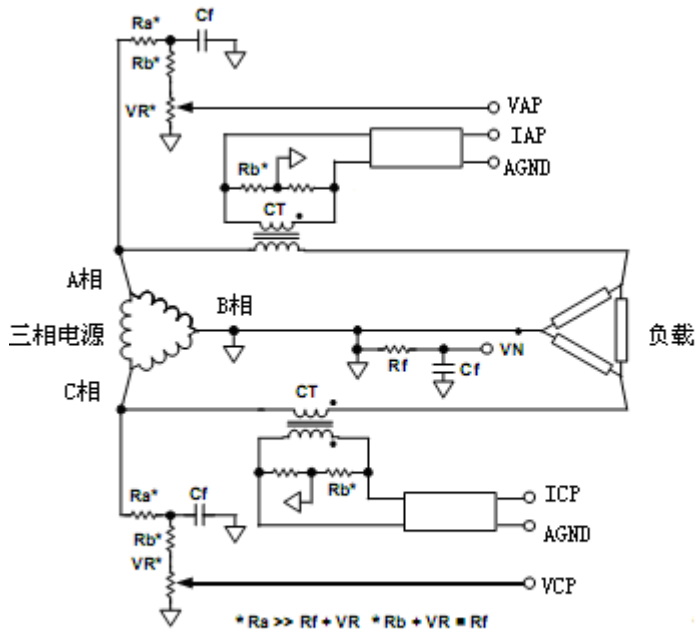
$$P_A(t) = V_A \times I_A \times \cos(\psi_A) - V_A \times I_A \times \cos(2\omega t + \psi_A)$$

$$P_B(t) = V_B \times I_B \times \cos(\psi_B) - V_B \times I_B \times \cos(2\omega t + \frac{4\pi}{3} + \psi_B)$$

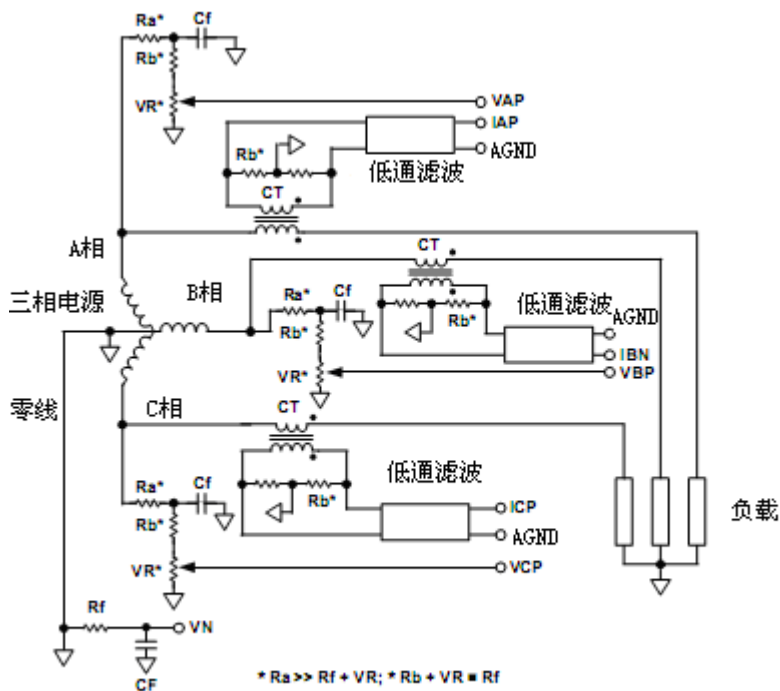
$$P_C(t) = V_C \times I_C \times \cos(\psi_C) - V_C \times I_C \times \cos(2\omega t + \frac{8\pi}{3} + \psi_C)$$

从上式中得出：每相电压、电流同时信号输入时，CS7730 才会输出有功功率，从而，总的有功功率和 $P(t) = P_A(t) + P_B(t) + P_C(t)$

下图为 CS7730 典型应用于三相三线制模式的接入方法图，需要说明，此模式中只有两个同相的电压、电流通道在使用，不是同相的电压、电流信号是不能进行功率计算的。

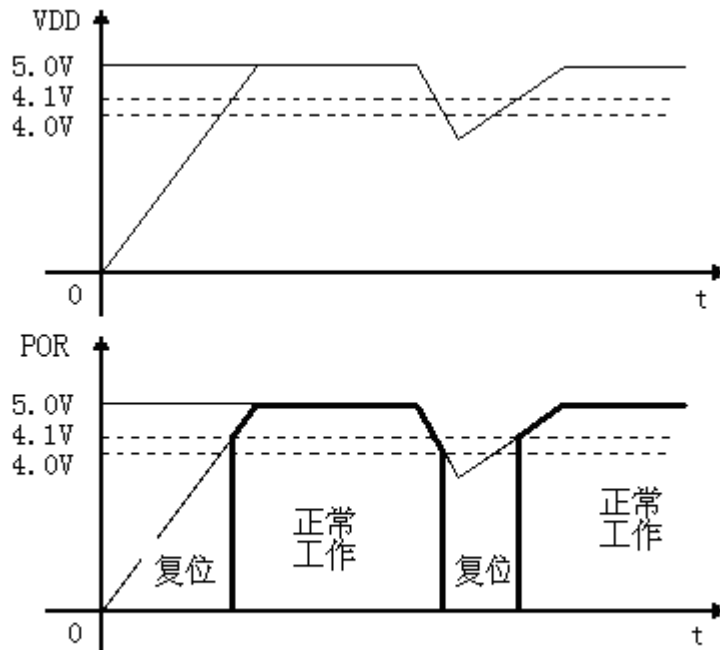


下图为 CS7730 典型应用于三相四线制模式的接入方法图。



电源检测

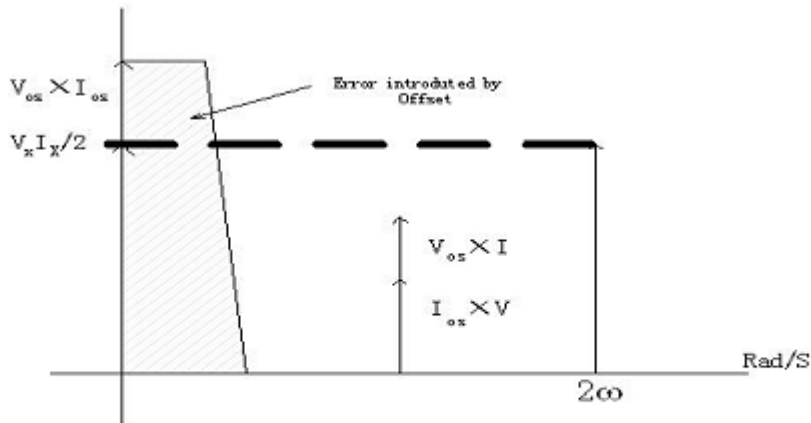
CS7730 片内设计有电源电压检测电路，当电源电压下降到 4V 时，芯片会自动复位，CS7730 的输出被关闭，这样就可以保证设备在上电和掉电下不发生异常，检测阈值设计有 0.1V 的滞回电压区间，避免了电源电压上的起伏噪声而引起反复复位。



电源电压检测信号波形图

高通滤波与失调电压影响

假设电压，电流两通道分别失调 V_{OS} ， I_{OS} ，则在输入信号进行有功功率计量时出现误差，具体如下图所示：



通道失调对有功功率计算的影响图

$$[V \cdot \cos(\omega \cdot t) + Vos] \times [I \cdot \cos(\omega \cdot t) + Ios]$$

$$= \frac{V \times I}{2} + Vos \times Ios + Vos \times I \cos(\omega \cdot t) + Ios \times V \cos(\omega \cdot t) + \frac{V \times I}{2} \times \cos(2\omega \cdot t)$$

因此必须对电压、电流通道的输入数据进行高通处理，消除失调电压对有功功率计算的影响，CS7730 的通道差异很小，通道相位误差远小于 0.05 度，保证在低功率因子时对功率计算的准确性。

数字到频率转换

前面所述，通过乘法器后的低通滤波器，可以得到瞬时功率中的直流量，即平均有功功率，然而，由于此低通滤波器不可能做成理想的滤波器，因而低通后的输出信号依然会包含电压频率的谐波。

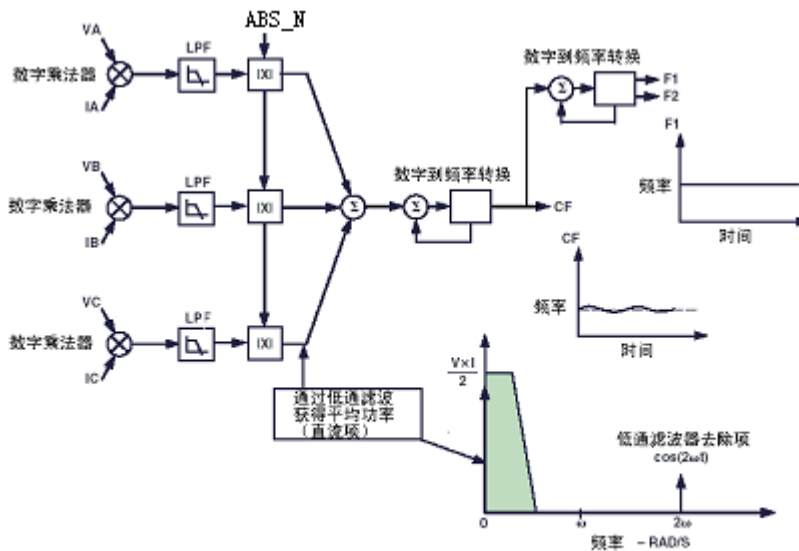
经过低通后，将三相电路信号进行叠加，然后通过数字到频率转换电路部分，在时间上对功率信号累加得到输出频率信号，这种对功率信号的累加能够将平均功率的非直流量进一步消去（平均掉），由于正弦信号的平均值为 0，所以得到的频率信号三和平均实功率是成正比的。

即使三在稳定负载情况下，CF 上的输出频率也是随时间变化的，这主要是由于瞬

时平均功率 $\cos(2\omega t)$ 的正弦分量，CF 上的输出频率可以达到 F1、F2 的 160 倍。

如果在更短的时间周期内累加功率，可以得到更高的输出频率，累加的时间越短，平均正弦分量的效果就越差，这样，反映到输出 CF 就是频率存在大的波动，但这并不会在应用中造成问题，若 CF 用在校验上，可以通过频率计数器来进行平均，这就会消除波纹。若 CF 用在能量计量上，CF 输出也应该经平均来计算功率，CF 波动对长期的准确性没有影响。长期的计量相当于对输出信号的波动作了平均。

合理设计低通滤波器可以有效的抑制 CF 的波动(下图输出频率 CF 的计算过程)。



三相有功电能的叠加模式

CS7730 将三相有功电能直接以代数的绝对值相加（代数的绝对值和）来计算的有功电能，每相的有功能量都被认为为正，这种模式在三相四线制接入方式下尤其有用，因为此情况下，有功功率的符号总是不变的，若电表连接错误，如一相上电流互感器的方向接错，则总的有功能量就会变成正常状况下的三分之一，因为其中两相相互抵消了，当然，在这种模式下，反相检测输出会指示接线的错误。

传递函数

F1、F2 输出频率

CS7730 分别对同相输入的电压、电流信号求乘积，并通低通函处理，把获取的三相有功功率相加，并把功率信息转换成频率，以高电平有效的方式从 $F1$ 、 $F2$ 脚输出与功率成正比的频率信号。

实际功率的输出脉冲 ($F1$ 、 $F2$) 计算公式

$$Freq = \frac{6.181 \times (V_{AN} \times I_A + V_{BN} \times I_B + V_{CN} \times I_C) \times F_{1-7}}{V_{REF}^2}$$

其中：

Freq —— 引脚 F1、F2 输出脉冲频率

V_{AN} 、 V_{BN} 、 V_{CN} —— 电压通道的输入电压的有效值

I_{AN} 、 I_{BN} 、 I_{CN} —— 电流通道的输入电压有效值

V_{REF} —— 基准电压 ($2.5 \pm 5\%$)

F_{1-7} —— 8 种模式系数不同，由 SCF 、 $S1$ 、 $S0$ 决定 (见下表)

SCF	$S1$	$S0$	$F1-7$ (Hz)
0	0	0	1.27
1	0	0	1.19
0	0	1	5.09
1	0	1	4.77
0	1	0	19.07
1	1	0	19.07
0	1	1	76.29
1	1	1	0.60

工作模式选择

SCF、S1、S0 是 CS7730 芯片工作模式选择管脚，可以通过接不同的电平 (+5v 或 0) 来调整芯片工作模式，F1、F2 的最大输出频率与 SCF，S1，S0 输入关系如下

SCF	S1	S0	最大交流输入时的输出频率 (Hz)	最大直流输入时的输出频率 (Hz)
0	0	0	0.51	1.02
1	0	0	0.48	0.96
0	0	1	2.04	4.09
1	0	1	1.91	3.84
0	1	0	7.67	15.35
1	1	0	7.67	15.35
0	1	1	30.70	61.4
1	1	1	0.24	0.48

CF 输出频率

CS7730 高频 CF 输出可以用于数据处理和电能校验,CF 的输出频率与 SCF、S1、S0 的输入关系如下 (CF 与 F_{1-7} 存在比例关系)

SCF	S1	S0	F_{1-7} (Hz)	CF 最大输出 (Hz)
0	0	0	1.27	$160 \times F1$, $F2=81.87$
1	0	0	1.19	$8 \times F1$, $F2=3.83$
0	0	1	5.09	$160 \times F1$, $F2=327.46$
1	0	1	4.77	$16 \times F1$, $F2=30.70$
0	1	0	19.07	$16 \times F1$, $F2=122.81$
1	1	0	19.07	$8 \times F1$, $F2=61.40$
0	1	1	76.29	$8 \times F1$, $F2=245.61$
1	1	1	0.60	$16 \times F1$, $F2=3.84$

无接入负载潜动

CS7730 内部设计有无负载防潜动设计，当电流通道输入电压高于 10mV 能正常启动，当低于此阈值时 CS7730 处于潜动状态。

起动电流

实测中，I_b 的 0.1% 可以起动。

1. CS7730 在电子式电能表的典型应用

事例 1 如果 V_A、V_B、V_C、I_A、I_B、I_C 上输入均为满刻度直流差分电压 ± 500mV，

理想输出频率计算如下：

$$F_{1-7}=0.6\text{Hz}, SCF=S0=S1=1$$

$$V_{AN}=V_{BN}=V_{CN}=I_A=I_B=I_C=500\text{mV} \quad dc=0.5V$$

VREF=2.5V (典型值，使用内部电压源，由于基准有 ± 5% 偏差，输出频率可能因设备而改变)

$$Freq = 3 \times \frac{6.181 \times 0.5 \times 0.5 \times 0.60}{2.5^2} = 0.445\text{Hz}$$

事例 2 电流、电压通道输入峰值为 500mV 的交流电压，理想的频率输出计算如下：

$$F_{1-7}=0.6\text{Hz}, SCF=S0=S1=1$$

$$V_{AN}=V_{BN}=V_{CN}=I_A=I_B=I_C = \frac{0.5}{\sqrt{2}} \text{Vrms}$$

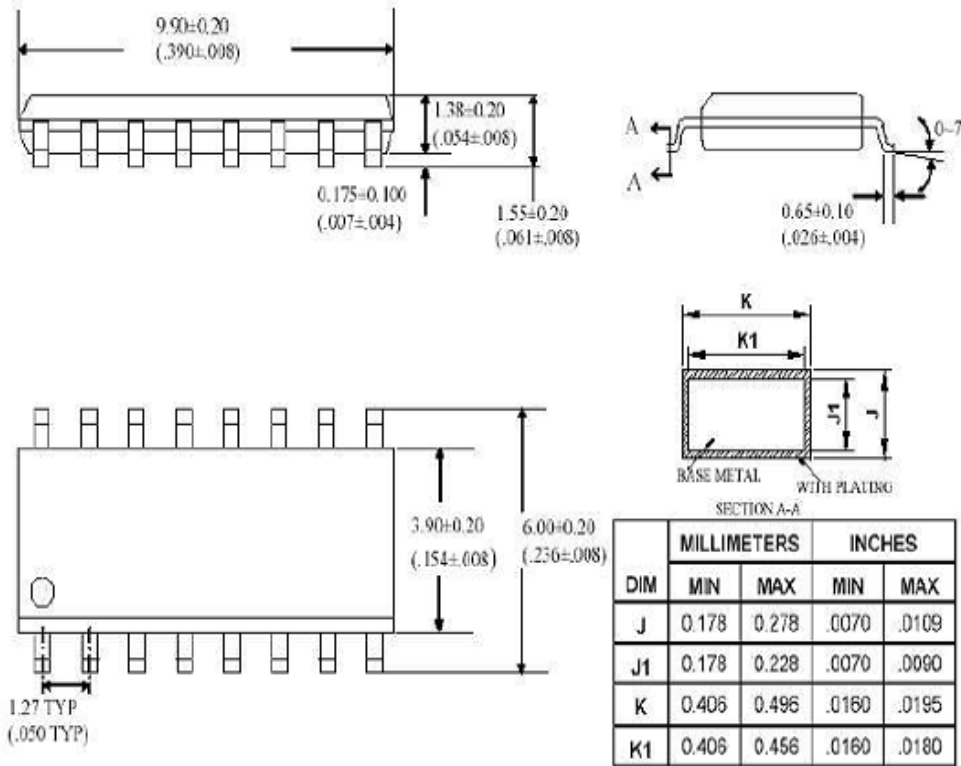
VREF=2.5V(基准电源)

$$Freq = 3 \times \frac{6.181 \times 0.5 \times 0.5 \times 0.60}{\sqrt{2} \times \sqrt{2} \times 2.5^2} = 0.223\text{Hz}$$

由上面两例可以看到：当输入为满刻度交流信号时，输出频率为输入满刻度直流信号时输出频率的二分之一，而且最大输出频率与所计量的相数有关，在三相三线制中，最多输出频率与三相四线制时最大输出频率不一样，这是因为，在三相三线△接法中，

只有两相接到模拟输入，在正常情况下，电流通道和电压通道中的信号相位不一致。

2. SOP-16 封装轮廓图 (单位: 英寸/mm)



3. 应用电路简图

