

## 新型低成本电能表的设计方案

上海贝岭 应用工程师：张信红（chent）

**摘要：**本文介绍的是一款应用内置晶振的新型计量 IC 设计的低成本电能表，其性能完全可以满足 1 级表的设计要求，在国内电表市场竞争日益激烈的今天，不愧为电表企业节约成本的首选。

**关键词：**低成本、低功耗、内置晶振、防潜动、计量 IC

从 1875 年世界上第一座用于弧光灯的发电厂在法国巴黎冯火车站建成以来，已经过去了一个多世纪。英国商人于 1882 年在中国开办了上海电光公司，在 1882 年 7 月 26 日正式发电以来，电表就开始应用于各场合。电表经过一个多世纪的发展，特别是 20 世纪末和 21 世纪初，已经遍布地球各个角落。并且已开始从机械式电表向电子式电表转变。

近几年，我国电表市场正在逐步扩大，占全球市场的近 40%。由于电子式电表具有生产工艺简单、准确度高、误差曲线平直、性能稳定可靠、自身损耗低、功能容易扩展等优点，无论从质量上还是技术上都已走上了成熟，各种类型的电子式电能表、卡式预付费电子式电能表、复费率电子式电能表、电子式多功能电能表逐步被用户接受，正在成为主要产品。电子式电表在 2004 年已经占整个国内电表市场的 42%，而且这个比例还在逐年呈现上升趋势。

但是，随着电子式电表的技术和市场的不断成熟，竞争将越来越激烈，对电表成本的要求越来越高。不管是电表生产企业还是前端元器件的生产企业，都在为降低成本而绞尽脑汁。而电表计量 IC 是电能表中非常关键的器件，计量 IC 的成本关系着整个电能表成本的高低。

在此，我们推出一种新型低成本电能表的设计方案。本方案使用上海贝岭股份有限公司新推出的内置晶振单相电能计量芯片 BL0930。（图 1 是 BL0930 的管脚图和实物图）

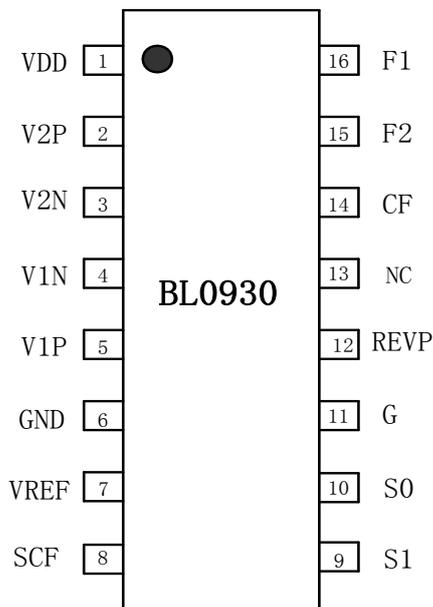


图 1A BL0930 的管脚图



图 1B BL0930 实物图

BL0930 作为电子式电能表的核心计量芯片，它在设计上采用了过采样和数字信号处理技术，从而大大提高了芯片的测量精度，在输入动态范围（500: 1）内，非线性测量误差小于 0.1%。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。BL0930 对正、反向有功功率均可进行测量，并且可转换成正向有功功率的脉冲输出，同时可以输出指示反向用电情况，具有较强的防窃电能力。该芯片采用高频和低频两种脉冲输出，既可用于校验和 MCU 处理，又可直接推动计度器进行电量累积。同时，该芯片设有低至 0.0015% 的防潜动阈值，具有较好的防潜动功能。

该芯片采用 0.35μm CMOS 工艺技术，功耗极低，只有 15mW。整个芯片工作的温度系数小于 50ppm/°C，尤其是 BL0930 芯片内置晶振，有效地降低了使用成本，封装仅为 SOP16。其外围电路很少、设计方便、结构简单，整体电路成本较低，在电表市场竞争日益激烈的现在，是电表企业的很不错的选择。

根据 IEC 61036:2000 《1 级和 2 级静止式交流有功电能表》和 GB17215-2002 《1 级和 2 级静止式交流有功电能表》的要求，我们可以采用 BL0930 设计出符合 1 级表要求的电能表电路。

表 1 GB17215-2002 的精度要求

电 流 值（分流器接入）	功率因数	各等级仪表百分数误差极限	
		1 级	2 级
$0.05I_b \leq I < 0.1I_b$	1	±1.5	±2.5
$0.1I_b \leq I \leq I_{max}$	1	±1.0	±2.0
$0.1I_b \leq I < 0.2I_b$	0.5 感性	±1.5	±2.5
$0.2I_b \leq I \leq I_{max}$	0.5 感性	±1.0	±2.0

注：

- 1、表中  $I_b$  表示电表的基本电流值， $I$  表示电表工作接受的电流值， $I_{max}$  表示电表的最大电流输入值；
- 2、表中的功率因数表示基波（45~65Hz）电压与电流波形之间的相位关系；
- 3、根据 GB17215-2002 标准的 3.5.6 定义：

$$\text{百分比误差} = (\text{仪表记录的电能} - \text{真值电能}) / \text{真值电能} \times 100$$

设计输入：

输入电压=220V<sub>AC</sub>

$I_{max}$ =30A， $I_b$ =5A

计度器=400imp/kWh

仪表常数=3200imp/kWh

分流器阻值=500μΩ

工作模式（SCF、S1、S0）=0、1、0

系统增益=16，即±41mV。

根据上述的设计输入，图 2 是采用 BL0930 设计的一种低成本电能表的电路原理图。本设计采用分流器接入方式提供电流采样，采用电阻分压方式来进行电压衰减。电量记录是一种用两相步进电机构成的简单机电式计度器，并由芯片的 F1、F2 引脚直接驱动，芯片的 CF 引脚输出 3200imp/kWh 的仪表常数，通过光电耦合器输出到校表仪器进行电表校验。

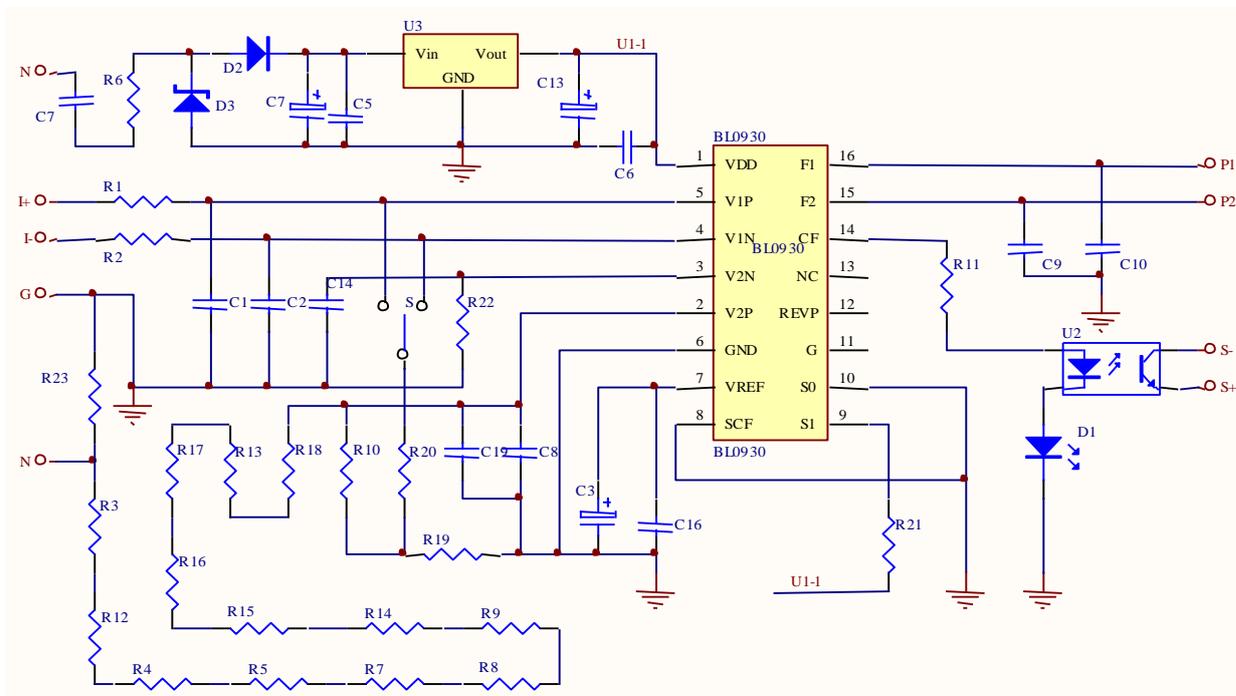


图 2 电路设计原理图

输入电压的衰减是通过简单的九级电阻分压网络来实现的，该衰减网络应该允许有  $\pm 30\%$  左右的校验范围，按 8421 编码来设置。而分压网络的  $-3\text{dB}$  频率是由两个并联的电阻和电容来实现的，根据  $f_{-3\text{dB}} = \frac{1}{(2\pi R_{10} \cdot C_8)}$  计算和通道 1 与通道 2 的匹配，我们选定  $R_{10}=1\text{K}\Omega$ 、 $C_8=33\text{nF}$ 。通过 9 级的电阻分压网络，最小调整值仅为  $1/1024$ ，当调整范围为  $80\%-120\%$  时调整细度约为  $0.05\%$ 。在进行精度校验时，从 R5 至 R13 进行分级调整；到最后一级 R13 时，精度可以调整  $0.05\%$ 。另外，有一点要注意的是在最后一级与芯片引脚 V2P 之间放置一个阻值较大的电阻，以减少调试过程中，电烙铁对芯片的直接影响。

电流通道的设计：考虑通道平衡和分流器寄生电感的影响，采用简单的 RC 滤波器设计，即  $R_1=R_2=1\text{K}\Omega$ ， $C_1=C_2=33\text{nF}$ ，同样满足  $f_{-3\text{dB}} = \frac{1}{(2\pi R_1 \cdot C_1)}$ ， $f_{-3\text{dB}} = \frac{1}{(2\pi R_2 \cdot C_2)}$ 。

电源电路设计是采用阻容分压网络（即 C7 和 R6）组成简单的低成本电源方案。C7 是一种耐压达到  $630\text{VAC}$  以上的金属化聚丙烯薄膜电容器，容量为  $470\text{nF}$ ，R6 为  $3\text{W}470\Omega$  的金属氧化膜电阻。为了减少计度器输出对电源的影响，在 F1、F2 输出端接两个电容（即 C9 和 C10）对地。

在设计 PCB 时，既要考虑对传导或辐射电磁干扰的敏感性又要考虑模拟信号的性能。要保证在较宽的动态范围内精度正常，减小电子噪声的影响，必须对噪声和电磁干扰敏感的部分电路

进行隔离。同时，要考虑抗电磁干扰和抗静电放电设计。所以 PCB 应为 FR-4 的环氧树脂玻璃纤维板，采用双面走线，模拟部分和高压部分左右隔离，并在光耦处开槽隔离。图 3—图 6 是 PCB 设计的各个层面图。

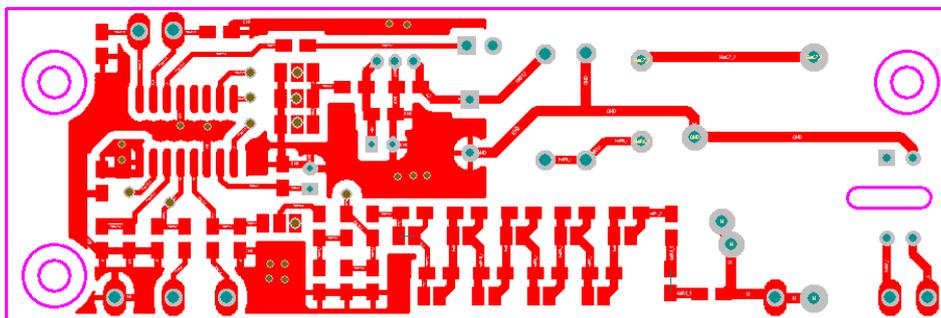


图 3 PCB 顶层布线图

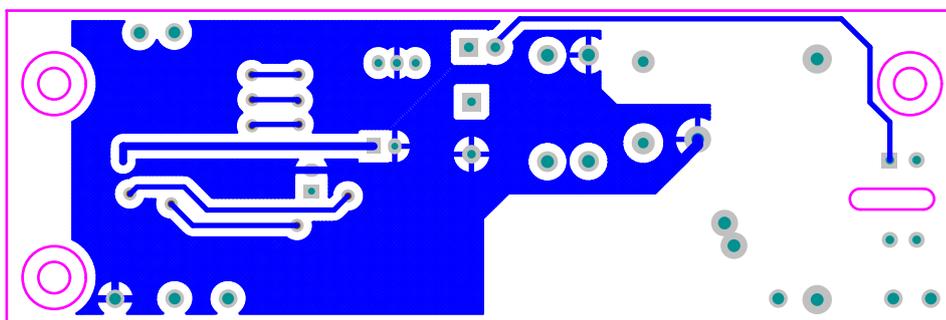
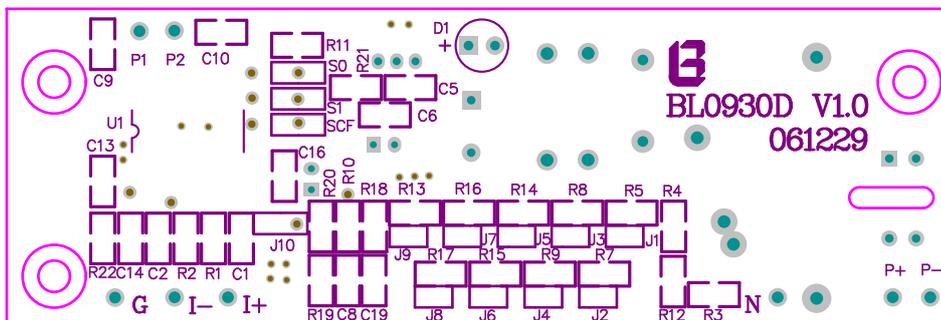


图 4 PCB 底层布线图



第三、PIN1 脚 Vdd 和 PIN7 脚 Vref 的外接电容，应尽可能地靠近管脚。

第四、PCB 的模拟铺地应尽可能大，同时保证铺地间隔应不小于 0.4mm。

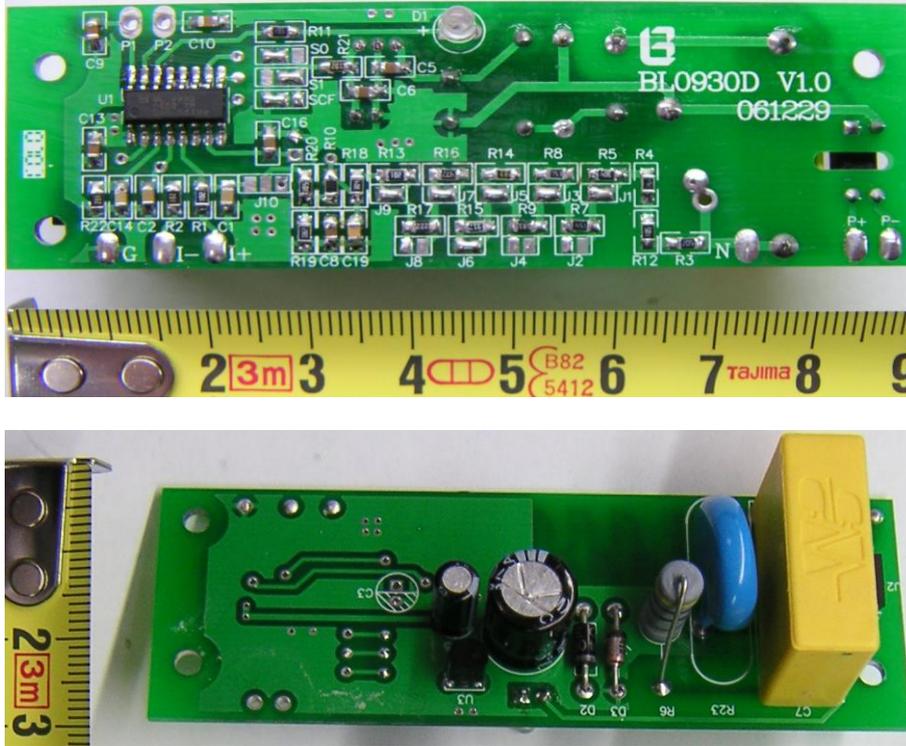


图 7 PCB 实物图

表 2 BL0930 设计的 BOM 表

序号	类别	规格	封装	数量	代号				备注
1	贴片电容		0805	1	C19				调整用
2	贴片电容	4700PF	0805	2	C10	C9			
3	贴片电容	22nF	0805	1	C1				
4	贴片电容	33nF	0805	3	C8	C2	C14		
5	贴片电容	0.1uF	0805	4	C6	C5	C13	C16	
6	贴片电阻	2	0805	1	R19				
7	贴片电阻	560	0805	1	R11				
8	贴片电阻	2.4K	0805	1	R13				
9	贴片电阻	1K	0805	5	R10	R22	R21	R1	R2
10	贴片电阻	4.7K	0805	1	R17				
11	贴片电阻	9.1K	0805	1	R16				
12	贴片电阻	18K	0805	1	R15				
13	贴片电阻	36K	0805	1	R14				
14	贴片电阻	75K	0805	1	R9				
15	贴片电阻	150K	0805	1	R8				
16	贴片电阻	300K	0805	2	R7	R18			
17	贴片电阻	620K	0805	1	R5				
18	贴片电阻	1M	0805	3	R12	R3	R4		
19	贴片电阻	3M	0805	1	R20				
20	电解电容	470uF/10V	C-10	1	C17				
21	电解电容	10uF/50V	C-5	1	C15				

22	安规电容	470nF/275V	C-2610	1	C7					
23	功率电阻	470/3W	R0120H	1	R6					
24	压敏电阻	GNR14D681K	YM20D	1	R23					
25	LED		LED	1	D1					
26	二极管	IN4007	DIODE	1	D2					
27	稳压管	8.2V/1W	DW	1	D3					
28	IC	BL0930	SOP16	1	U1					
29	光耦	NEC2501	DIP4	1	U2					
30	稳压器	78L05	TO-92	1	U3					
31	PCB	BL0930D V1.0 061229		1						
44										

电表样品调试和设计验证完全可以达到原设计要求，样品测试的基本误差、线性误差和相位误差均能控制在 0.3%以内。样品调试数据见表 3。

表 3 样品调试数据

样品号	样品 1		样品 2		样品 3		样品 4		样品 5	
	Ib	0.5L	Ib	0.5L	Ib	0.5L	Ib	0.5L	Ib	0.5L
100%Ib	0.02	0.17	-0.01	0.13	-0.2	-0.01	-0.01	0.06	0.06	0.11
10%Ib	0.08	0.28	0.12	0.30	-0.17	-0.07	0.09	0.28	0.1	0.15
5%Ib	0.15		0.16		-0.07		0.18		0.24	
5%-100%	0.13	0.11	0.17	0.17	0.13	-0.06	0.19	0.22	0.18	0.04

说明：参数比较中 Ib 表示为 5%-100%，0.5L 表示为 10%-100%

从以上的设计可以看出，电表性能完全能够达到设计标准。整体电路元器件较少，结构简单，设计方便，整个 PCB 大小可以控制在 3cm×9cm，总体元器件最多 43 个，成本很低，并且能够适用于各种类型的 1 级和 2 级表的设计。

#### 参考文献

- 1、GB17215-2002 1 级和 2 级静止式交流有功电能表
- 2、内置晶振单相电能计量芯片  
BL0930\_datasheet



图 8 整表设计外观图