



实用测量器具维修技术

电子式电能表 使用与维修

辽宁省计量科学研究院 组编

中国计量出版社

• 实用测量器具维修技术 •

电子式电能表使用与维修

辽宁省计量科学研究院 组编

主 编 黄 涛

副主编 张文美

编 者 孙 毅 唐

中国计量出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

电子式电能表使用与维修/辽宁省计量科学研究院组编.
—北京: 中国计量出版社, 2003.1

(实用测量器具维修技术)

ISBN 7-5026-1701-9

I. 电… II. 辽… III. ①电子式电能表—使用②电子式电能表—维修 IV. TM933.407

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 084582 号

内 容 提 要

本书阐述了 CB 3 系列电子式电能表的基本原理、技术性能及使用方法, 对电能表使用中的故障现象及其产生原因进行了分析, 并介绍了排除故障的方法。

本书可供电能表的管理、使用、维修及检定人员掌握电能表原理并提高维修技术学习使用。

中国计量出版社出版

北京和平里西街甲 2 号

邮政编码 100013

电话 (010)64275360

E-mail jlfxb@263.net.cn

北京市迪鑫印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

版权所有 不得翻印

*

850 mm × 1168 mm 32 开本 印张 2.75 字数 55 千字

2003 年 1 月第 1 版 2003 年 1 月第 1 次印刷

*

印数 1-5000 定价: 7.00 元

目 录

第一章 概 述

第一节 电能的基本概念	(1)
第二节 电能表	(3)
一、电解式电能表/3	
二、机电式电能表/4	
三、电子式电能表/4	

第二章 CB3 系列电子式三相功率电能表

第一节 CB3 系列电子式三相功率电能表技术特性、 基本功能	(6)
一、主要技术特性/6	
二、基本功能/10	
第二节 CB3 系列电子式三相功率电能表的构成及 原理电路	(12)
一、输入部分/12	
二、乘法器部分/16	
三、电流/频率变换电路/21	
四、微机控制部分/24	
第三节 CB3 系列电子式功率电能表的使用方法和 注意事项	(26)

一、使用方法/26

二、注意事项/31

第四节 CB3 系列功率电能表常见故障及故障点的判断

和维修 (33)

一、显示窗口无功率值/33

二、有高频比对信号 (F_H) 输出, 无低频比对信号
(F_L) 输出/36

三、有功率值显示, 无电能值显示/38

四、电能值显示不了完整的 5 位数码/39

五、改变电压输入端插孔时无功率值显示/39

六、有功率值显示和光电控制信号, 没有转数递减
现象/39

七、 $\cos\varphi = 1.0$ 时无电能误差值显示, $\cos\varphi = 0.5$ 时
有电能误差值显示/40

八、在检定时仪表的误差较大/41

九、累计电能值与预置标准数相近但显示的误差
较大/42

十、仪器接通电源后, 毫无反应/42

第三章 BDJ 系列功率电能表

第一节 BDJ 系列功率电能表的主要性能 (44)

一、主要功能/44

二、技术性能/45

三、主要特点/46

第二节 BDJ 系列功率电能表的工作原理 (47)

一、原理框图/47

二、工作原理/48

三、频率的功率当量及功率测量/49

四、脉冲的电能当量及电能测量/51	
五、电表常数 C_0 及电能表校验/52	
第三节 BDJ 系列标准功率电能表的电路分析	(55)
一、输入级/55	
二、电流型时分割乘法器电路/57	
三、 I/f 变换电路/64	
四、微机控制部分/68	
第四节 BDJ 系列功率电能表的使用方法及注意事项	(71)
一、仪表的加电和注意事项/71	
二、预置参数/72	
三、测量功率/75	
四、测量电能/75	
五、使用光电头校验电能表/76	
六、使用启停开关校验电能表/77	
第五节 BDJ 系列功率电能表的常见故障及维修	(78)
一、开机后, 无显示/78	
二、显示不正确/79	
三、显示超差/81	
四、无脉冲输出/81	
五、显示不稳定/81	
参考文献	(82)

第一章

概 述

第一节 电能的基本概念

电能是工农业生产和人们日常生活中的主要能源之一。准确计量电能量，对于电能的供应和消耗，合理拟定生产计划，核算经济指标，维护国家和消费者利益，保证电能公平交易有重要意义。

直流电的大小和方向是不随时间变化的，直流功率 P 为电压 U 与电流 I 之积

$$P = UI$$

因此，在直流电路中功率 P 也不随时间变化，电能就是电功率和时间的乘积。即电能

$$E = Pt$$

交流电的大小和方向均随时间有规律地作周期变化，一般交流电遵循正弦函数的变化规律。随时间按照正弦规律变化的电流和电压，可写成函数形式

$$i = \sqrt{2} I \sin(\omega t + \varphi_i)$$

$$u = \sqrt{2} U \sin(\omega t + \varphi_u)$$

式中: U, I ——交流电压、交流电流的有效值;

u, i ——电压、电流的瞬时值, 是随时间变化的函数;

ω ——角频率;

φ_i, φ_u ——初相角。

上式表达了每个瞬时交流电流和交流电压的大小, 描述了交流电流和交流电压随时间变化规律的曲线。

在交流电路中, 功率 $p = ui$, 它的大小和方向随时间变化。

瞬时功率

$$\begin{aligned} p &= ui = 2UI \sin \omega t \sin(\omega t + \varphi) \\ &= UI \cos \varphi (1 - \cos 2\omega t) - UI \sin \varphi \sin 2\omega t \end{aligned}$$

瞬时功率由两部分构成, 其中一部分 $p_1 = UI \cos \varphi (1 - \cos 2\omega t)$, 另一部分 $p_2 = -UI \sin \varphi \sin 2\omega t$ 。功率 p_1 在 $0 \sim 2 UI \cos \varphi$ 范围内变化, 它总是正值, 其平均功率值为: $UI \cos \varphi$, 即负载消耗的有功功率, $\cos \varphi$ 为负载功率因数。功率 p_2 以角频率 2ω 在波动, 其平均值为零, 波动的最大值定义为无功功率: $UI \sin \varphi$, 即表示电源与负载电抗部分能量交换的速率。

在交流电路中功率随时间变化, 在 T_1 到 T_2 一段时间内, 可分解为若干个 Δt 很小的时间, 认为在 Δt 时间内 p 是不变的, 则电能

$$E = \sum_{t=T_1}^{t=T_2} p \times \Delta t$$

电能与功率不同之处是, 它不仅能反映出负载功率的大小, 而且能反映负载功率和时间的乘积及电能随时间增长的积累总

和。而功率仅能反映出电能的瞬时值。

第二节 电能表

电能表是专门用以测量电能量的仪表,又叫电度表。千瓦小时表(也叫瓦时计)。电能表与功率表不同,电能表不仅能反映出负载功率的大小,而且能反映负载功率和时间的乘积及电能随时间增长的积累总和。功率仅能反映出电能的瞬时值。

目前,在国内每年生产的测试仪表中,电能表的产量占居首位,它的使用范围非常广泛,凡是用电的地方几乎都有电能表。电能表品种很多。按照测量原理和结构电能表大体可分3类。

一、电解式电能表

电解式电能表是以电流的化学反应为基本工作原理。应用较广泛的主要是汞和氢的电量电能表。在汞的电量电能表中通入电流后,由于电解的结果,使得电解液中的汞沉积,这些沉积的汞聚集在向下的量管中。在氢的电量电能表中,电解的结果释放氢气,这些氢气集结在向上的量管中,汞柱和氢柱的高度来衡(度)量通过电能表电量的大小,测量单位为安培小时($A \cdot h$),这种表也称之为安培小时计,主要用于化学工业和有色金属冶炼工业中测量电能的消耗,以及检查、控制生产工艺过程。

二、机电式电能表

机电式电能表,又可分成电动式和感应式。它们的共同特点是有一个可以旋转的可动体在电磁场中转动,驱动一个累计电能的装置。电动式电能表是基于电动系功率表,加累计电能的装置而成,即可测量交流电能也可以测量直流电能,但主要用于测量直流电能。感应式电能表主要用于测量交流电能,利用电磁感应原理使驱动元件建立的交流电压、电流磁通与其在转盘内的感应电流相互作用形成转动力矩,因其结构简单,转动力矩大,牢固耐用而得到普遍应用。感应式电能表又可分为:有功电能表、无功电能表、最大需量电能表、定量电能表、复费率电能表等。

三、电子式电能表

电子式电能表又称数字式电能表,是近年来发展较快的一种新型的测量仪表,应用微电子技术、模/数转换技术和脉冲数字技术作为工作基础,把被测电能量变成一串串脉冲,由电子计数器计数,并用数码管直接显示电能。电子式电能表具有准确度高,灵敏度高,输入阻抗高,测量速度快,自动化与智能化强,体积小,重量轻,易遥控,便于与微机联用,可以消除视差,对外界条件的适应能力比指针式和旋转式仪表强等优势,是电能表发展的主要趋势。

由于功率与电能之间只相差一个时间 t ,所以电子式电能表都具有显示功率的功能,大多数电子式电能表又称为电子式功率电能表。

随着电子技术高速发展和大规模集成电路的出现,电子式功率电能表的功能不断扩展、性能不断改进。

电子式功率电能表多以模拟乘法器或数字乘法器两种形式为核心器件。早期的电子式功率电能表,采用电压型时分割乘法器,其由于开关场效应管尖峰效应和导通电阻的影响,以及使用较多的运放,使其漂移严重,在满度和零点的稳定问题也不能很好解决。后期为克服电压型时分割乘法器的弱点,采用电流型时分割乘法器,克服了尖峰效应及运放的漂移,输入级采用互感器作为转换。但采用互感器使得工作频率受到一定限制,局限于工频范围使用。在电流型时分割乘法器的基础上又进行不断的改进,如采用固态传感技术和整体组合方式;采用电子补偿式互感器或采用双级电流互感器;采用自动切换量程的方法;采用固定电平比较器;采用输出放大器接成差动方式。超大规模集成电路如:16位或32位的高速A/D转换电路(芯片)的出现,为电子式功率电能表中的乘法器实现数字相乘铺平了道路。数字乘法器,将输入电压和电流,经过相应的高精度电压/电压(V/V)变换器(或采用感应分压器、特殊的电阻分压器)和电流/电压(I/V)变换器,转换为A/D(高速模拟数字转换器)匹配电平的交流电压信号,同时A/D对这些信号进行同步的时间和幅值的量化(即采样),并且形成数据集。将这些数据经接口母线送入微机,由微机的软件功能,从定义出发计算出相应的电压、电流、功率(经过对时间的进一步积分获得电能),进而求得彼此间相位,送入显示部分。从而实现数字相乘的方式。

CB3 系列电子式三相功率电能表

第一节 CB3 系列电子式三相功率电能表 技术特性、基本功能

一、主要技术特性

(一)适用范围及品种

CB3 系列电子式三相功率电能表,适用于单相、三相三线、三相四线电路作有功功率、无功功率和电能的测量及对低等级电能表的校验。CB3 系列电子式三相功率电能表主要有:CB3 型、CB3 - II 型、CB3 - III(或 PS43 - III)型 3 个品种。

(二)功率测量

CB3 型电能表测量功率时,可以显示 1s 采样的结果,在额定功率输入下可以分辨到 0.1W,全部量程均可以直读、放大和缩小。功率读数按电流、电压可有如下的组合:2000, 1000, 500, 400, 200, 100, 40 W 和 20 W 共 8 个,放在 2 kW 上使每相

的满度读到 20 000 字得到最高的分辨能力，也可将所选用的电流、电压量程相乘，得出的乘积，即是读数开关所放的位置，所显示的就是实际功率数值。对于 CB3 Ⅲ型电能表，测量功率时，仪表通电或复位，即处于测量功率状态。在测量功率状态下，常数键被按后可依次显示以下几个参数：

H——相序。用于选择本表的哪一相工作，以数字 1, 2, 3 分别表示 A, B, C 三个相，需使用哪一相工作，即按相应的数字。

PF——功率因数值。

S——测量功率时的采样时间。单位为 s，S 的范围为 1 ~ 20s。

P——功率满度值，P 的预置是对应量程的额定值。

根据需要可以修改这些参数。

(三) 电能测量

CB3 型电能表测量电能时，用 5 位数码管显示转数（电能值），读数及功能开关放在 60R 或 30R 位置上，“R”指单相额定功率时每分钟的转速，每转（R）是用 10 000 个脉冲的计数来表示。显示位数不够时，可用倍乘开关 $\times 10$ 、 $\times 100$ 两挡加以扩大。校验低等级电能表时，需将计算出的标准预置数拨入拨盘开关内。对于 CB3 - Ⅲ型电能表，测量电能时，按电能键，仪表转入电能测量（或对低等级电能表校验）状态。CB3 - Ⅲ型电能表，不同于 CB3 型电能表，不是经过人工计算标准预置数，而是用常数键，在仪表的提示下，修改参数。在电能状态下，常数

键被按后可依次显示以下几个参数:

0——窗口显示的电能值的分频系数, 仅与显示值有关, 不参与误差计算, 0 的范围为 (1 ~ 99999)。

H——相序。用于选择本表的哪一相工作, 以数字 1, 2, 3 分别表示 A, B, C 三个相, 需使用哪一相工作, 即按相应的数字。

b——表序。指定校哪块表, 以数字 1, 2, 3 表示 3 块被校表的序号。

F——变比。指本仪表与被校表输入功率的比值。

C——被校电能表的电能常数。

U——被校电能表的工作电压量程值。

A——被校电能表的工作电流量程值。

n——被校电能表的校验转数, 0 ~ 255 任意预置。当 $n = 0$ 时, 输出 F_L 脉冲, 仪表前面板显示 FLOUT。

在电能测量状态下, 仪表先显示被校表的编号, 再显示测量的电能数(值)和相对误差值。如果同时校 2 块或 3 块电能表, 则以交替形式显示。

(四) 电能表校验

CB3 型电能表用于电能表校验状态时, 在光电控制方式下, 只能校验一块电能表, 校验转数 0 ~ 12 圈可预置。校验低等级电能表时, 需将计算出的标准预置数拨入拨盘开关内, 校验误差窗口可显示误差值。仪表可连续显示被校电能表相对误差值, 误差值显示范围为 $-9.99\% \sim +9.99\%$ 。如果超出这个范围时误差显

示器无显示值（全黑）。CB3-Ⅲ型电能表，在电能测量状态下，可显示电能数和相对误差，而且相对误差值可显示到 10^{-5} ，比CB3型电能表显示误差值多了一位。校验转数也比CB3型电能表相应多而且灵活。为了避免在使用互感器时反复计算功率变比 K 值，而设置了电流百分比键，减少了劳动强度

（五）技术性能

（1）电压量程 U_N ： $3 \times 100 \text{ V} / 200 \text{ V} / 400 \text{ V}$ ；

输入阻抗 R_i ： U_N / R_i $100 \text{ V} / 50 \text{ k}\Omega$ $200 \text{ V} / 100 \text{ k}\Omega$
 $400 \text{ V} / 200 \text{ k}\Omega$ 。

（2）电流量程 I_i ： $3 \times 5 \text{ A} / 1 \text{ A} / 0.2 \text{ A}$ （可扩展 20 A）；

输入阻抗 R_i ： I_N / R_i $5 \text{ A} / 0.1 \Omega$ $1 \text{ A} / 0.2 \Omega$
 $0.2 \text{ A} / 2.5 \Omega$ （20 A / 0.025 Ω ）。

（3）配有高频比对（脉冲）输出 F_H 、低频比对（脉冲）输出 F_L ，在三相额定功率下的输出频率：

对于 CB3 型， $F_H = 60 \text{ kHz}$ ， $F_L = 60, 0.6, 0.3, 0.15 \text{ Hz}$ 等；

对于 CB3-Ⅲ型， $F_H = 60 \text{ kHz}$ $F_L = 3 \text{ Hz}$ （ $F_L = 1/2000 F_H$ ）。

输出波形为 5V 的矩形波。

（4）基本误差限（%）

$\cos \varphi$	负 载 电 流				
	$0.05 I_b$	$0.1 I_b \sim 1.1 I_b$	$0.1 I_b$	$0.2 I_b$	$0.5 I_b \sim 1.1 I_b$
1.0	± 0.1	± 0.05	/	/	/
0.5L	/	/	± 0.15	± 0.075	± 0.05
0.8C	/	/	± 0.15	± 0.075	± 0.05

注： I_b —标定电流；L—感性负载；C—容性负载

- (5) 电压变化影响: $0.9 \sim 1.1 U_N$ 范围内误差变化 $< 0.025\%$ 。
- (6) 频率变化影响: $45 \sim 65\text{Hz}$ 范围内误差变化 $< 0.025\%$ 。
- (7) 温度变化影响: $10 \sim 30^\circ\text{C}$ 范围内误差变化 $< 0.005\%/^\circ\text{C}$ 。
- (8) 标准环境: 温度 $20^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$, 相对湿度不大于 80% 。

二、基本功能

(一) 测量功率

各量程在额定输入功率下, 其输出脉冲频率 F_H 都为 20 kHz (单相时)。当实际输入小于额定值时, 输出脉冲频率 F_H 也就降低, 可见, 根据 F_H 值的大小可测得输入功率的多少, 测量频率就是在单位时间内对脉冲进行计算。

用瓦每千赫兹来表示频率的功率当量

$$D_P = \frac{U_N I_N}{F_H} = \frac{U_N I_N}{20} \quad \text{W/kHz}$$

根据上式可得各量程的频率的功率当量。按照电压、电流量程的组合, 共有 8 种, 见表 1-1。

表 1-1 频率的功率当量

$U_N I_N$	20W	40W	100W	200W	400W	500W	1kW	2kW
D_P W/kHz	1	2	5	10	20	25	50	100

有了频率的功率当量, 只要在单位时间内测得脉冲数目, 即可算得所测功率的大小

$$P_X = D_P \times \frac{N}{s}$$

式中: N —— 采样时间内的脉冲数;

s —— 采样时间。

(二) 测量电能

由于电能与功率之间只相差一个“时间”量, 确切说只要在一定时间内对脉冲进行计数, 可以测出电能的累计值。

每个脉冲表示多少焦耳 (J) 的量, 称为脉冲的电能当量。对于高频信号 F_H 来说, 脉冲的电能当量

$$D_E = \frac{U_N I_N T}{F_H T} = \frac{U_N I_N}{20 \times 10^3} \quad \text{J/个脉冲}$$

式中, T 为对脉冲进行计数所需的时间。

根据上式可得各量程的脉冲的电能当量, 按照电压、电流量程的组合, 共有 8 种, 见表 2-2。

表 2-2 脉冲的电能当量

$U_N I_N$	20W	40W	100W	200W	400W	500W	1kW	2kW
D_E J/个脉冲	0.001	0.002	0.005	0.01	0.02	0.025	0.05	0.1

由于低频信号 F_L 是由高频信号 F_H 分频得来的, 它的每一个脉冲代表的电能量应为上表所列数据的基础上乘以分频系数。

对 CB3 型, F_L 与 F_H 的关系如图 1-1 所示。

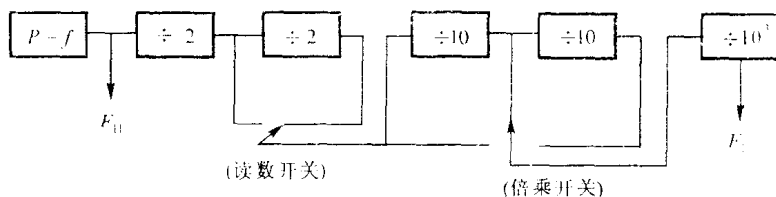


图 1-1 F_L 与 F_H 的关系