

数字万用表的使用和维修

卢文科 编著



Ω

A

V

W

机械工业出版社

数字万用表的 使用和维修

卢文科 编著



机械工业出版社

(京)新登字054号

本书对用数字万用表和数字钳形万用表测量交直流电流、电压、电阻、半导体三极管 h_{FE} 、二极管正向压降的原理进行了系统的分析和介绍外,还对数字钳形万用表独特的测量交直流功率、功率因数、相位的原理进行了详细的分析和介绍;同时对3½数字电压表进行了重点介绍,最后对这两种万用表的使用和维修也作了较详细的介绍。并介绍了国内外数字万用表和数字钳形万用表的发展状况,以及近几年来国内外数字钳形万用表和数字万用表所采用的工作原理。

本书可供仪器仪表的设计、研制、使用、维修人员和大专院校有关专业师生阅读。本书的部分章节还可供具有高中文化程度的技术工人阅读。

图书在版编目(CIP)数据

数字万用表的使用和维修/卢文科编著. 北京:机械工业出版社, 1993.

ISBN 7-111-03899-1

I. 数...

I. 卢...

Ⅱ. ①复用电表-应用 ②复用电表-维修

N. TM938.17

出 版 人 马九荣(北京市百万庄南街1号 邮政编码100037)

责任编辑: 张沪光 版式设计: 王颖 责任校对: 张沪光

封面设计: 肖 晴 责任印制: 王国光

机械工业出版社京丰印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

1994年4月第1版·1994年4月第1次印刷

787mm×1092mm¹/32·4.375印张·93千字

0 001—6 500册

定价: 4.50元

前 言

目前国内图书市场上虽出过几种介绍数字万用表的书籍，而介绍数字钳形万用表的书籍还未见到。数字钳形万用表除具有数字万用表的一切性能外，还具有自己独特的测量交直流功率、功率因数、相位功能。

一般数字万用表在测量电流时，必须把表串入电路中，而数字钳形万用表在测量电流时，用钳子卡住被测电流的导体，就能很方便地测量出电流的大小。

数字钳形万用表精度高、使用方便，因而发展很快。特别在节电方面，越来越引起人们的重视。

书中的内容是根据作者的实际工作经验及有关资料进行编写的(其中大部分内容是编者近几年来发表过的论文)。本书中介绍的原理是近几年来国内外数字钳形万用表所采用的工作原理，因而内容新颖、实用，所以在实际工作中有一定的参考价值。

由于作者水平有限，书中缺点和错误在所难免，肯切希望读者予以指正。

本书由西安矿业学院刘联会副教授详细审阅，为此表示衷心感谢！

作者

1992年1月

目 录

第一章 数字钳形万用表和数字万用表的概述	1
一、国外发展状况	1
二、国内发展状况	3
第二章 霍尔变换器	4
一、霍尔元件	4
1. 霍尔元件的基本原理	4
2. 霍尔元件的不等位电动势和不等位电阻	4
3. 霍尔元件受温度的影响	5
二、霍尔元件的并联使用	7
三、霍尔元件的恒流源	8
1. 工作原理	8
2. 使用注意事项	10
四、钳形万用表的磁路设计	10
第三章 电流的测量	13
一、直流电流的测量	13
1. 直流小电流的测量原理	13
2. 直流大电流的测量原理	15
3. 霍尔检零原理和霍尔直接检测原理的比较	16
4. 钳子铁心剩磁问题	17
5. 大地磁场(或其它外磁场)的影响问题	18
6. 位置误差问题	19
二、交流电流的测量	20
1. 交流小电流的测量原理	20
2. 交流大电流的测量原理	21

3. 霍尔检零原理和霍尔直接检测原理方案的比较	22
4. 交直流转换器	22
第四章 功率的测量	35
一、小功率的测量	35
1. 直流小功率的测量原理	35
2. 交流单相有功小功率的测量原理	38
3. 交流单相无功小功率的测量原理	39
4. 交流三相有功小功率的测量原理	42
5. 交流三相无功小功率的测量原理	43
二、大功率的测量	44
1. 第一种测量大功率的原理	44
2. 第二种测量大功率的原理	50
第五章 视在功率、功率因数和相位的测量	60
一、视在功率、功率因数的测量	60
1. 视在功率的测量	60
2. 功率因数的测量	60
二、相位的测量	61
1. $0^{\circ} \sim 360^{\circ}$ 相位测量原理	61
2. $0^{\circ} \sim \pm 180^{\circ}$ 相位测量原理	63
第六章 交直流电压、电阻、电容、半导体三极管	
h_{FE}、二极管正向压降的测量	67
一、交直流电压的测量	67
1. 直流电压的测量	67
2. 交流电压的测量	68
二、电阻的测量	69
三、电容的测量	70
四、三极管 h_{FE} 的测量	71
五、二极管正向压降的测量	73

第七章 3¹/₂数字电压表的原理	75
一、介绍7106型A/D转换器	75
1. 7106型A/D转换器的特点	75
2. 7106型A/D转换器的管脚功能介绍	76
3. 由7106型A/D转换器组成的数字电压表	79
4. 7106型A/D转换器的原理	80
二、LCD显示器	102
1. LCD显示器的概述	102
2. LCD显示器电路(液晶显示器电路)	103
三、其它3 ¹ / ₂ 数字电压表原理	104
1. 由7107构成的数字电压表	104
2. 由7116构成的数字电压表	106
3. 由7117构成的数字电压表	108
4. 由7126构成的数字电压表	108
5. 由7136构成的数字电压表	109
6. 由CC14433构成的数字电压表	110
第八章 数字钳形万用表和数字万用表的使用	112
一、电流档和功率档的使用	112
二、相位档的使用	113
三、电压档的使用	114
四、电阻档的使用	116
五、电容档的使用	117
六、三极管h _{FE} 档的使用	117
七、二极管正向压降档的使用	118
第九章 数字钳形万用表和数字万用表的维修	119
一、电流档的维修	120
1. 直流小电流档的维修	120
2. 直流大电流档的维修	121
3. 交流小电流档的维修	122
4. 交流大电流档的维修	122

二、功率档的维修	122
1. 小功率档的维修	122
2. 大功率档的维修	124
三、相位档的维修	126
四、电压档的维修	127
五、电阻档的维修	128
六、电容档的维修	128
七、三极管 h_{FE} 档的维修	129
八、二极管正向压降档的维修	130
附录: 新旧符号对照表	131
参考文献	132

第一章 数字钳形万用表和数字万用表的概述

数字钳形万用表除具有一般数字万用表的一切测量功能外，还具有测量交直流功率、功率因数、相位的独特功能，这些独特功能在电力测量和检查中，既省电又省时。所以本章主要对独特功能的国内外发展状况进行介绍(一般的数字万用表的发展状况在许多资料上已经作过介绍，这里就从略)：

一般在测量电力或检查电流时，必须切断被测电路，将瓦特计或电流表串联到电路中，因此对已建成的电气设备或运转中的电气设备很难决定要从何着手检测。

自从钳形万用表问世以后，只要钳住电路的任何部分，便可在电路正常运转状态下，简单迅速地进行电力测量。

一、国外发展状况

近几年来，在国外特别是日本，钳形万用表发展很快，目前应用已经很广泛。

在测量功能方面，因机种的不同除具有测量有功功率以外，还拥有测量电压、电流、无功功率、视在功率、功率因数等许多功能，所以，电力线上的各种必要的电气数值都可用钳形万用表测量。它又可同积分仪、打印机、以及记录仪等附属仪器配合，记录和累计消耗电功率、最大需用功率及负荷曲线等数据，因此在电力管理或改善设备的工作中是一

种使用非常方便的仪器。

表1-1为日本日置电机株式会社生产的钳形万用表的系列产品。

表1-1 部分日本产钳形万用表

3130系列	3133, 3134: 3相3线用电力表
	3135, 3136: 3相4线用电力表
	3164: 单相直流电力表
	3141: 积分仪
3160系列	3161, 3162: 3相电功率, 积分仪
	3163: 3相电功率, 功率因数仪
	3171: 打印机
	3172: GP-IB接口转换器
记录器系列	8200: 单笔放电式记录, 50mm宽
	8300: 单笔记录器

下面介绍在实际工作中用钳形万用表节约电力的情况。

钳形万用表可以测量各种电气参数, 根据这些参数, 很容易算出单位消费电力、负荷率、功率因数值, 从而正确地进行电力线路的分析与评价。

(1) 单位消耗电力

单位消耗电力是表示生产量对消耗电力之比。

工厂用每种产品产量对生产该产品所消耗的电力之比作为衡量耗能指标, 以便采取措施使生产单位产品所消耗的电力尽量降到最低。

利用钳形万用表中的瓦特档和积分仪, 便可简单地测得累积电力, 因此, 可配合各种生产形态、产品种类等而求得

单位产品所消耗的电力。

(2) 负荷率

负荷率指某一期间内的平均消耗电力对最大需用电力的百分比，是表示电气设备的作业状况的一种指标。

利用钳形万用表中的瓦特档、记录仪及积分仪，进行测量平均消耗电力和最大需用电力，便可简单地求得其负荷率。

改善负荷率可采取的措施有：作业时间的延长改善时差运转；最大需用电力的抑制；提高设备的利用率；引进夜间作业设备。

(3) 功率因数

功率因数用由负荷决定的有功功率与视在功率的比表示。

功率因数虽可以利用电力电容器进行改善，但在低压线路上设置电力电容器进行改善的费用较大，因此，利用钳式瓦特档测得实际的功率因数便可以仔细考虑采取改善的措施。可采取的措施有：引进功率因数控制器；引进高效设备；电力设备(变压器、电动机等)的有效运用。

二、国内发展状况

在国内，钳形万用表在电力管理方面还没有引起人们的重视，也没有形成具有各种机能的系列产品，虽然我们也作了许多的研究工作，但还需要进一步的研究。

把测量交直流电流和交直流电压的数字钳形表MGS 2列为国家“六五”计划节能攻关项目进行研究，此项目已经完成；还有 μ P-500型钳形式用电状况综合测量记录仪也已研制成功。

第二章 霍尔变换器

一、霍尔元件

1. 霍尔元件的基本原理

如图2-1所示, 取一长度为 L 、宽为 W 和厚度为 D 的半导体基片, 在基片上加控制电流 I_H , 其方向如图2-1中所示, 并在片子平面法线方向上加一个磁感应强度为 B 的磁场, 这时在垂直于电流和磁场的方向上(即霍尔元件的输出端), 将产生一个电压 U_H , 这个电压就称为霍尔电压。其大小与所加控制电流 I_H 及磁感应强度 B 的乘积成正比。

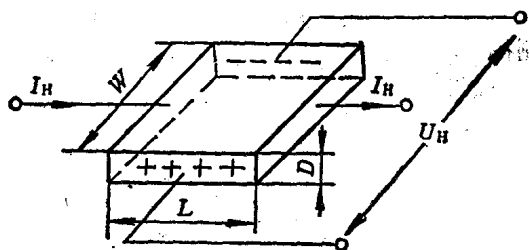


图2-1 霍尔元件原理图

$$U_H = K_H I_H B \quad (2-1)$$

式中 K_H ——霍尔元件的灵敏度。

2. 霍尔元件的不等位电动势和不等位电阻

当控制磁感应强度 B 为零, 控制电流 I_H 为额定值 I_N 时, 霍尔元件的输出电压称为不等位电动势。

不等位电动势为 U_0 ，控制电流 $I_H = I_N$ ，这时不等位电阻

$$r = \frac{U_0}{I_N}$$

不等位电动势及不等位电阻均在直流下测得。

下面谈一下不等位电动势的补偿。由于不等电动势与不等位电阻是一致的，因此可以用分析其电阻的方法取得补偿措施。如图2-2所示，A、B为控制电流端，C、D、为霍尔元件的电压输出端，在极间分布的电阻分别用 R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 表示，理想情况是 $R_1 = R_2 = R_3 = R_4$ ，即可取得不等位电动势为零（或不等位电阻为零）。

实际上，若存在着不等位电动势，则说明四个电阻不相等。把它们视为电桥的四个臂，即电桥不平衡，为使其达到平衡可在两个臂上并联一个电位器RP进行调节，如图2-2b所示。

3. 霍尔元件受温度的影响

霍尔元件的灵敏度、输入电阻及输出电阻受温度的影响比较大。所以必须对霍尔元件进行温度补偿。其方法如下（见图2-3）：

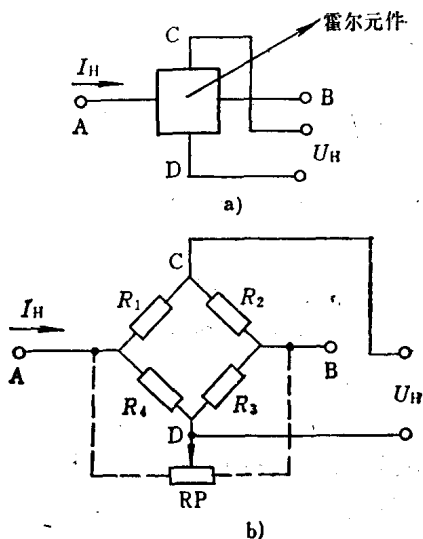


图2-2 霍尔元件的等效电桥

a) 霍尔元件 b) 等效电桥

当初始温度为 T_0 时有如下参数:

r_0 为霍尔元件的输入电阻; R_0 为选用的温度补偿电阻;
 I_{C0} 为分流掉的电流; I_{H0} 为控制电流; K_{H0} 为霍尔元件的灵敏度。

当温度升为 $T(^{\circ}\text{C})$ 时,
 上述各参数均改变为:

$r_0 \rightarrow r$; $R_0 \rightarrow R$; $I_{H0} \rightarrow I_H$;
 $I_{C0} \rightarrow I_C$; $K_{H0} \rightarrow K_H$ 。

且有如下关系

$$r = r_0(1 + \alpha \Delta T)$$

$$R = R_0(1 + \beta \Delta T)$$

$$K_H = K_{H0}(1 + \delta \Delta T)$$

其中 $\Delta T = T - T_0$; α 、 β 、

δ 分别为输入电阻、分流电阻及灵敏度的温度系数, 根据电路可有

$$I_{H0} = I \frac{R_0}{R_0 + r_0} \quad (\text{当温度为初温度 } T_0 \text{ 时})$$

$$I_H = I \frac{R}{R + r}$$

$$= I \frac{R_0(1 + \beta \Delta T)}{R_0(1 + \beta \Delta T) + r_0(1 + \alpha \Delta T)}$$

(当温度 T_0 变为 T 时)

当温度改变 ΔT 时, 为使霍尔电压不变, 则必须有如下关系:

$$U_{H0} = K_{H0} I_{H0} B$$

$$= K_H I_H B$$

$$= U_H$$

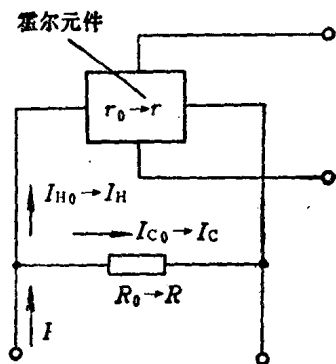


图2-3 霍尔元件的温度补偿电路

$$= K_{H0}(1 + \delta \Delta T) BI \frac{R_0(1 + \beta \Delta T)}{R_0(1 + \beta \Delta T) + r_0(1 + \alpha \Delta T)}$$

整理上式可得

$$R_0 = r_0 \frac{\alpha - \beta - \delta}{\delta}$$

对一个确定的霍尔片，其参数 r_0 、 α 、 δ 是确定值，可由上式求得分流电阻 R_0 及要求的温度系数 β 。为了满足 R_0 及 β 两个条件，此分流电阻可取温度系数不同的两种电阻实行串、并联组合，温度补偿效果很好。

二、霍尔元件的并联使用

在霍尔元件并联使用时，相当于两霍尔元件各自的输出电压和输出电阻相串之后的两条支路再并接(见图2-4所示)。

由图2-4所示的电路，再利用戴维南定理知道C、D开路时，电流

$$I_0 = \frac{U_{H1} - U_{H2}}{R_1 + R_2}$$

所以

$$\begin{aligned} U_H &= U_{H2} + R_2 I_0 \\ &= U_{H2} + R_2 \frac{U_{H1} - U_{H2}}{R_1 + R_2} \end{aligned}$$

将 U_{H1} 、 U_{H2} 短路时

$$R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

将图2-4等效为图2-5所示的电路。

在实际并联应用时，希望 $U_{H1} = U_{H2}$ ，而怎样才能使得 $U_{H1} = U_{H2}$ ，可采用图2-6所示的实际电路。由于霍尔元件的

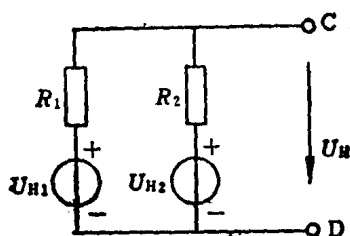


图2-4 两霍尔元件的
并联电路

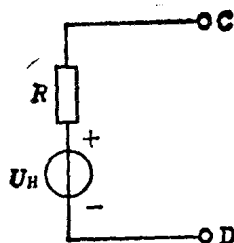


图2-5 两霍尔元件并联
等效电路

灵敏度 $K_{H1} \neq K_{H2}$, 控制电流端的输入电阻 $r_1 \neq r_2$, 所以在霍尔元件的控制电流端串入一个电位器 RP , 使 $U_{H1} = U_{H2}$ (即 $K_{H1}I_{H1}B = K_{H2}I_{H2}B$)。

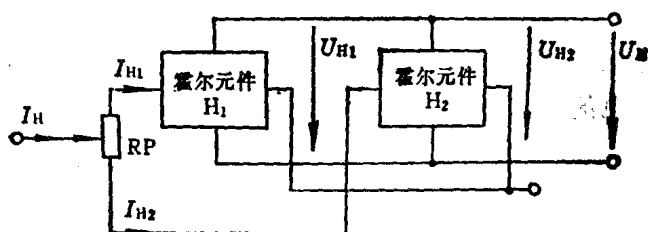


图2-6 两霍尔元件并联使用的实际电路

三、霍尔元件的恒流源

图2-7所示恒流源受温度、时间变化的影响非常小, 稳定性高; 输出电流 $I = 0 \sim 50\text{mA}$ 。

1. 工作原理

图403精密基准电压源输出电压 $U_1(2.5\text{V})$, 送入放大器同相输入端。经过放大后, 通过 $R_1 + \Delta RP_2$ 反馈到放大器反

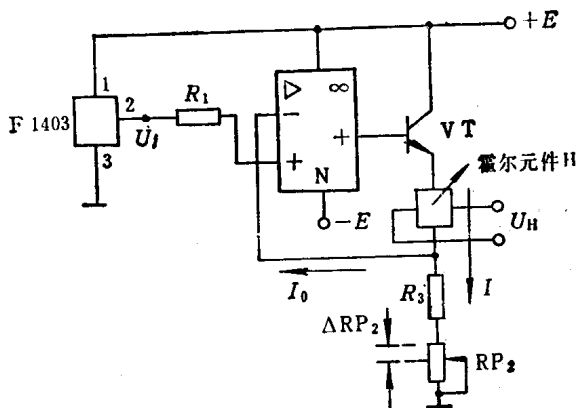


图2-7 霍尔元件的恒流源

相输入端，这时反馈到放大器的反相输入端电压非常接近于 U_I (2.5V)，那么电阻 $R_3 + \Delta RP_2$ 上的电流

$$I = \frac{U_I}{R_3 + \Delta RP_2}$$

这里可以认为 I_0 接近于零，所以，负载霍尔元件 H 得到一个恒定电流

$$I = \frac{U_I}{R_3 + \Delta RP_2}$$

在图2-7所示的恒流电路中， U_I 是精密基准电压源 F1403 的输出电压 (其大小为 2.5V)，所以恒流源电流 I 大小由 $R_3 + \Delta RP_2$ 来决定。

恒流电路受温度和时间变化的影响，主要原因是：

(1) 基准电压的变化

解决此问题采用了 F1403 精密基准电压源，在 4h 内稳定度 0.002% (指在标准条件下)。