

万用电表 原理与 电子元器件 测量

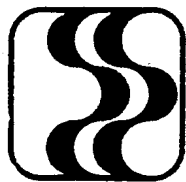
● 唐明斗



湖北科学技术出版社

● 唐明斗

万用电表原理与 电子元器件测量



湖北科学技术出版社

万用电表原理与电子元器件测量

◎ 唐明斗

策 划：李海宁
责任编辑：

封面设计：秦滋宣
责任编辑：蒋 静

出版发行：湖北科学技术出版社
地 址：武汉市武昌东亭路2号

电话：6812508
邮编：430077

印 刷：京山县印刷厂印刷
督 印：李 平

邮编：431800

787×1092mm 32开 15.875印张
1996年2月第1版

367千字
1996年2月第1次印刷

印数：00001—10 000
ISBN7-5352-1661-7/TH·28

定价：14.80元

本书如有印装质量问题可找承印厂更换



前 言

随着电子技术的发展,新元器件的种类日益增多,在不具备专用测试仪表的情况下,如何正确地使用万用电表测试这些元器件的电参数或质量,对大多数电子技术人员提出了新的课题。

万用电表是目前使用极为广泛的一种便携式测量仪表,可测量交直流电压、直流电流与电阻,某些型号万用表还具有测量交流电流、电容、电感及其它功能,一表多用,比使用专用仪表方便,但仍受到一定条件的限制。假若对电路、各种元器件的基本结构、特性、电参数比较了解,对万用电表的原理、测量技术比较熟悉,万用电表的测试功能与范围便可相应扩展,测量精度也会有所提高,这对缺少专用仪表的维修人员无疑会带来许多方便,本书就是针对上述问题而编写的。

本书涉及内容较为广泛,包括有万用电表原理及功能扩展,常用元器件与专用元器件的测量,电路、电器、电机、电缆等设备的检测,并附有较多的新型元器件参数表,有实用参考价值。

在编写过程中,参考了有关国标、部颁标准、工厂测试资料所刊载测试方法及电参数,结合用万用表的测试方法,力求获得较正确的测量数据。对某些元器件的个别参数,由于受到测试条件的限制,仅能作出定性的估测,但仍足以判断元器件

的质量。

陈蕴基、徐随生、戴保华、唐绍洪、胡光武参与了本书部分内容编写工作,戴保华、唐绍洪并作了大量资料检索与电气、电子元器件的测试,取得了实测数据,孙及参与了绘图工作。

本书内容欠完善与不妥之处,诚恳希望得到广大读者的批评指正。

唐明斗

1995 年 4 月

内 容 提 要

本书内容分为五部分:第一部分介绍万用电表原理及功能扩展。第二部分讲述万用电表测量技术。第三部分为晶体管、运算放大器、门电路、可控硅、电子管与传感器等元器件的测量。第四部分为电子钟表、空调机、微波炉等家电设备的测量。第五部分为变压器、电机、继电器、电缆与电源等电气设备的测量。

全书对万用电表设计与电子元器件的测量原理讲述比较系统详细,深入浅出,着重于理论与实际操作相结合。书内附有很多实例和实用图表,可供科技工作者、电气维修人员和无线电爱好者参考,亦可作为电气设备维修班的辅助教材。

目 录

第一章 万用电表原理	(1)
第一节 概述	(1)
第二节 万用电表的测量误差	(4)
第三节 表头灵敏度的选择与测量	(6)
第四节 表头内阻的测量	(8)
第五节 直流电流的测量原理与设计	(11)
第六节 直流电压的测量原理与设计	(16)
第七节 交流电压的测量原理与设计	(22)
第八节 交流电流的测量原理与设计	(27)
第九节 电阻的测量原理与设计	(35)
第十节 电平的测量与应用	(46)
第十一节 电表阻尼力矩的调整	(50)
第十二节 插孔式万用表电路分析	(52)
第十三节 旋转开关式万用表电路分析	(57)
第十四节 万用表的校验	(63)
第二章 万用电表功能扩展与附加电路	(68)
第一节 直流电流档的量程扩展	(68)
第二节 直流、交流电压档的量程扩展	(71)
第三节 电阻档量程的扩展与降低	(74)
第四节 电容量的测量原理与设计	(77)

第五节	电感量的测量原理与设计	(84)
第六节	晶体三极管 h_{FE} 参数的测量 原理与设计	(87)
第七节	灵敏度变换装置($\div 2$ 电路) 的原理与计算	(91)
第八节	极性转换开关电路工作原理	(92)
第九节	过载保护电路工作原理	(92)
第十节	音响式通断路测试电路	(96)
第十一节	氖灯测试电路的原理与应用	(97)
第十二节	输出插孔的应用	(99)
第十三节	调零按钮的使用	(101)
第十四节	测量交流电流的附加器	(101)
第十五节	h_{FE} 测量附加器	(103)
第十六节	迭层电池代换器	(105)
第三章	万用电表测量技术	(109)
第一节	电压、电流量的准确测量	(109)
第二节	测量电阻档被测元件的负载 电流与端电压	(112)
第三节	双表法扩展电压、电流和电阻档量程 ..	(118)
第四节	万用表电阻档电路的最大电流 与输出功率	(122)
第五节	利用电压表法测量电流	(123)
第六节	利用直流电流档测量交流电流	(125)
第七节	用电压表法测量高电阻	(127)
第八节	电压、电流表法测量热态电阻	(128)
第九节	峰值电压的测量	(129)
第十节	非正弦周期性电压的测量	(131)

第十一节	高频电压的测量	(135)
第十二节	音频输出功率的测量	(139)
第十三节	发射机输出电路的测量	(141)
第十四节	单相交流电功率和功率因数的测量	(144)
第十五节	多阻值电阻代换器	(147)
第四章	常用晶体管测量	(150)
第一节	晶体二极管的测量	(150)
第二节	晶体三极管的测量	(160)
第三节	结型场效应管的测量	(191)
第四节	单结晶体管的测量	(201)
第五节	可调单结晶体管的测量	(206)
第五章	稳压管与恒流管的测量	(209)
第一节	半导体稳压管的测量	(209)
第二节	辉光稳压管的测量	(214)
第三节	半导体恒流管的测量	(218)
第四节	金属丝充气稳流管的测量	(221)
第五节	钨丝稳幅管的测量	(224)
第六章	发光二极管与数码显示管的测量	(226)
第一节	发光二极管的测量	(226)
第二节	闪光型发光二极管的测量	(234)
第三节	数码显示管的测量	(238)
第七章	可控硅的测量	(247)
第一节	单向可控硅的测量	(247)
第二节	双向可控硅的测量	(255)
第三节	可关断可控硅的测量	(260)
第四节	逆导可控硅的测量	(264)

第五节	光控可控硅的测量	(266)
第六节	可控硅移相角的测量	(268)
第七节	双向触发二极管的测量	(272)
第八章	传感器与光电耦合器的测量	(275)
第一节	热敏电阻的测量	(275)
第二节	温度传感器的测量	(279)
第三节	光敏传感器的测量	(285)
第四节	光电耦合器的测量	(291)
第五节	红外发光管的测量	(299)
第六节	磁敏传感器的测量	(301)
第七节	气敏传感器的测量	(309)
第九章	常用集成电路的测量	(313)
第一节	运算放大器的测量	(313)
第二节	电压比较器的测量	(322)
第三节	TTL 门电路参数的测量	(326)
第四节	CMOS 门电路参数的测量	(334)
第十章	电子管的测量	(341)
第一节	电子管放射性能的测量	(341)
第二节	阴极与丝极间漏电流的测量	(344)
第三节	真空管漏气的检测	(345)
第四节	电子管跨导的测量	(347)
第五节	电子管放大系数的测量	(350)
第六节	电子管内阻的测量	(352)
第十一章	电子电路的测量	(354)
第一节	电路电流的不断线测量法	(354)
第二节	阻容耦合放大级工作状态的测量	(356)
第三节	OTL 电路的测量与调整	(359)

第四节	变压器耦合单边功率放大器的 测量与调整·····	(361)
第五节	变压器耦合推挽功率放大器的 测量与调整·····	(363)
第十二章	家电设备的检测·····	(366)
第一节	日光灯的检测·····	(366)
第二节	电子手表的检测·····	(371)
第三节	石英钟的检测·····	(373)
第四节	微波炉的检测·····	(376)
第五节	风扇电机绕组的检测·····	(380)
第六节	窗式空调器电路的检测·····	(382)
第十三章	电气设备的测量·····	(387)
第一节	电磁型继电器的测量·····	(387)
第二节	中间继电器的测量·····	(390)
第三节	热继电器质量的检测·····	(392)
第四节	时间继电器的测量·····	(393)
第五节	变压器绕组的极性 与组别连接的测试·····	(395)
第六节	变压器变压比的测量·····	(399)
第七节	变压器每伏匝数的测量·····	(400)
第八节	测量三相绕组的每相电阻·····	(402)
第九节	变压器绕组短路的检测·····	(403)
第十节	三相异步电动机绕组首尾端的判别·····	(404)
第十一节	三相异步电动机相序的确定·····	(406)
第十二节	三相异步电动机定子绕组 故障检测·····	(407)
第十三节	电刷中性线位置的测定·····	(409)

第十四节	电缆故障的检测·····	(410)
第十五节	接地电阻的测量·····	(415)
第十六节	电度表的校核·····	(416)
第十四章	电源及整流设备的测量·····	(419)
第一节	干电池的质量检测·····	(419)
第二节	钮扣电池的测量·····	(421)
第三节	光电池的测量·····	(422)
第四节	铅蓄电池的测量·····	(423)
第五节	Q 系列铅蓄电池剩余容量的测量 ·····	(428)
第六节	镉镍蓄电池的测量·····	(430)
第七节	整流设备输出电压的测量·····	(434)
第十五章	数字万用电表的原理与使用·····	(435)
第一节	概述·····	(435)
第二节	数字万用电表原理·····	(443)
第三节	数字万用电表的使用·····	(474)

第一章 万用电表原理

第一节 概 述

复用电表通常称为万用电表,是使用极为广泛的一种便携式仪表。基本测量内容包括交直流电压、直流电流和电阻,又常称为三用表。某些万用表还具有测量交流电流、电感、电容、电平(分贝值)、半导体二极管、三极管和通断蜂鸣器、过载保护等多种功能,用途趋向多样化、数字化方向发展。本书内容针对使用广泛的指针式万用表,阐述它在电工、电子技术方面的测量技术,并介绍了数字式万用电表的基本原理与应用。

万用表的灵敏度 S_v 用欧/伏表示,是一个重要的指标,它表示了测量电压时,表针偏转到满标度取自电路的电流。引出的电流愈小,对被测电路的影响愈小,读数精度也愈高。

$$S_v = \frac{\text{同量程档电压表内阻}}{\text{电压档量程的上限值}}$$

例如 $S_v = 20\text{k}\Omega/\text{V}$, $1/S_v = 50\mu\text{A}$, 即为电压量程档满标度时通过电表的电流。假若表针尚未指到满度,则通过的电流

$$I = \frac{1}{S_v} \cdot \frac{U}{U_m}$$

式中 U_m 为电压表满标度值, U 为电压表实测值。万用表

的灵敏度 S_V 一般在 $1\text{k}\Omega \sim 100\text{k}\Omega/\text{V}$ 之间,目前大多数型号万用表均按 $S_V = 20\text{k}\Omega/\text{V}$ 设计,因此在很多电子产品电路图上所标注的直流电压值均指明为用 $S_V = 20\text{k}\Omega/\text{V}$ 电压表测出。

万用表直流电流测量范围一般在 $50\mu\text{A}$ 到 500mA 或 10A 之间,直流电压测量范围在 0.1V 到 500V 或 1kV 之间,交流电压范围在 1 到 500V 或 1kV 之间,电阻测量范围在 $1\Omega \sim 20\text{M}\Omega$ 之间,小型万用表大多不具备交流电流量程。

万用表由微安表(表头)、测量电路和转换装置三部分组成,表头采用磁电式 μA 表,磁电式仪表是利用处在永久磁钢磁场中的可偏转线圈有电流通过时发生偏转效应的原理制成的。由于极掌间磁感应强度 B 恒定,因而转动转矩 M_1 和通过电流成正比, $M_1 = K_1 I$, 而动圈转轴上游丝产生的反作用力矩 M_2 与扭转角成正比, $M_2 = K_2 \alpha$, 当 $M_1 = M_2$ 时,动圈即静止在一定的偏转角 α 位置上。偏转角与被测电流强度成正比。

$$\alpha = \frac{K_1}{K_2} I = K I$$

式中 K_1 、 K_2 、 K 为比例系数。因此磁电式仪表对直流电量有均匀的分度线,它的灵敏度与精度均较高,抗外磁干扰性能强,功率损耗小。用以测量交流电,则因为动圈的转动惯量和固有振动周期大,而偏转角决定于转矩在一个周期内的均值,交流正弦波所产生的转矩均值等于零,所以动圈不会偏转。用磁电式仪表测量交流电,必须另接整流器,目前大多采用硅二极管作整流元件,用氧化亚铜或锗二极管作整流元件,因稳定性不佳,已淘汰使用。

万用表测量电阻的方法是将被测电阻与电表串联或并联(部分万用表测小阻值电阻采用此种接法),再与内部电池及

零值调整电阻构成闭合电路,当被测电阻阻值大,通过表头的电流便减小,在表盘上刻绘出相应的阻值,一般具有四或五档量程,假若内部电压下降,会引起测量误差,在使用电阻档量程时,当将试棒二端短路,而无法将表针调整到零欧姆位置,就应更换表内部电池。

万用表工作频率范围较窄,在 45~1000Hz 之间,当电压频率高于 5kHz 以上时,由于潜布电容及电抗变化的影响,读数将会偏小。因频率与标称值相差 $\pm 10\%$ 而引起的附加误差,不应超过仪表基本误差的容许值,由上述定义标定出仪表的工作频率范围。

表 1 万用表表盘上的符号

序号	符 号	意 义
1	A-V- Ω	三用表(万用表)
2	— ~ —	直流、交流、交直流二用
3	$\cap$ $\cap$ — $\rightarrow$	磁电系、磁电系整流式仪表
4	$\square$ $\perp$ 30° 60°	表盘水平、垂直及倾斜放置角度
5	$\boxed{I}$ $\boxed{II}$ $\boxed{III}$ $\boxed{IV}$	外磁防护等级
6	1.0 1.5 2.5 4.0	以标度尺量限百分数表示的精度等级
7	1.0 1.5 2.5 4.0 V V V V	以标度尺长度百分数表示的精度等级
8	(1.0) (1.5) (2.5) (4.0)	以指示值的百分数表示的精度等级
9	☆ ☆ ☆ ☆	绝缘强度试验电压为 500V、2kV、3kV、6kV
10	$\triangle_A$ $\triangle_B$ $\triangle_C$ $\triangle_T$	四组仪表,分别在 0~+40°C、-20~+50°C、-40~+60°C、-10~+50°C工作

外界磁场会影响到表头的测量精度,仪表对外磁场防护能力分为四级,等级标志在表面方框符号内。用罗马数字 I、II、III、IV 表示防护等级。由与被测量同一性质电流产生的磁场强度为 4A/cm(5 奥)所引起的附加误差(%),应符合下述规定: I 级容许附加误差 ± 0.5 , II 级 ± 1.0 , III 级 ± 2.5 , IV 级 ± 5.0 。因此在大电流配电板附近使用仪表,测量时外磁场会引起较大的测量误差。

第二节 万用电表的测量误差

万用电表属于便携式仪表,它的精度在 1.0~5.0 级之间,它表示了仪表测量基本误差的百分率。电工仪表精度分为 0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5 和 5.0 七级。按国标 GB776—65 规定,4.0 级为一般万用表整流系的交流等级。仪表的等级表示仪表的相对额定误差或称为基本误差 γ_m 为:

$$\gamma_m = \frac{\Delta X_m}{X_m} \times 100\%$$

式中 ΔX_m 为仪表的最大绝对误差,绝对误差 ΔX 指仪表读数 X 与实际值 X_0 之差, ΔX 与 X_0 比值的百分数称为相对误差 γ , X_m 为测量量程的最大值,仪表等级愈小,它的测量精度愈高。

例如 1.5 级 μA 表的量程上限如为 $50\mu A$,则其最大测量误差 $\Delta X_m = \pm (X_m \times \gamma_m) = \pm (50 \times 1.5\%) = \pm 0.75\mu A$ 。当测量 $40\mu A$ 电流时,相对误差 $\gamma = \Delta X_m / X_0 \cdot 100\% = 0.75 / 40 \cdot 100\% = 1.875\%$,测量电流为 $10\mu A$ 时, $\gamma = 0.75 / 10 \cdot 100\% = 7.5\%$ 。因此选择电表量程时,应尽量使表针能偏转到大于 1/2 满度线以上位置。

仪表的绝对误差 $\Delta X = X - X_0$ ，为了校正方便，规定 $X_0 - X = C$ 称为仪表的更正值或绝对校正值，它是为了算出被测量的实际值必须与测量仪表读数代数相加的量。

$$C = -\Delta X$$

在仪表的校正表格上如果给出的是更正值 C ，则仪表上的读数应加上 C ，如果给出的是绝对值 ΔX ，则仪表上读数应减去 ΔX ，才是被测量的实际值。

$$X_0 = X - \Delta X$$

$$X_0 = X + C$$

[例] 实际电压值 $V_0 = 50V$ ，在万用表 100V 档上测出为 51V，试求仪表的测量误差。

$$\text{绝对误差 } \Delta V = 51 - 50 = 1V$$

$$\text{更正值 } C = -\Delta V = -1V$$

$$\text{相对误差 } \gamma = \Delta V / V_0 \times 100\% = 1/50 \cdot 100\% = 2\%$$

$$\text{基本误差 } \gamma_m = \Delta V_m / V_m \times 100\% = 1/100 \cdot 100\% = 1\%$$

ΔV_m 应多点测试，取其中的最大值。

万用表电阻档基本误差是以刻度线上某二点间以弧长度的绝对误差与刻度线整段长度之比的百分数来表示的。

$$\gamma_R = \frac{\Delta L}{L_m} \times 100\% = \frac{L_x - L_0}{L_m} \times 100\%$$

$$\text{或 } \gamma_R = \frac{\Delta D}{D_m} \times 100\% = \frac{D_x - D_0}{D_m} \times 100\%$$

式中 ΔL 为电阻值绝对误差折合的弧长， L_x 、 L_0 分别为表针读数位置及实际值应指位置折合到刻度线上的弧长， L_m 为整段刻度线弧长，单位均为 mm。为了读数方便，也可用刻度线上格数 D 或标出的电阻值表示。

$$L_x = \frac{R_c}{R_c + R_x} \times L_m$$