

工 程 实 践 系 列 丛 书

电气工程与电子工艺

实践教程

毛书凡 主编

工程实践系列丛书

电气工程与电子工艺 实践教程

毛书凡 主编

宗晓宁 董超 刘皓 参编

内 容 提 要

针对目前高等工科院校工程实践教学的要求,为满足理工科学生电气工程与电子工艺实践课程的需要,特编写了本书。

全书共分六章,前四章为电气工程实践基础知识,介绍了工程标准和安全维护技术等内容;第五章介绍了现代电子工艺的相关知识;第六章为实习与训练指导。

本书体现了现代高等工程实践教育思想和大工程教育要求,理论联系实际。本书可作为高等理工院校实践教材,亦可作为相关专业的技术参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电气工程与电子工艺实践教程/毛书凡主编. —天津:天津大学出版社,2008.8 (2009.8 重印)

ISBN 978-7-5618-2688-1

Ⅰ.电… Ⅱ.毛… Ⅲ.①电气工程—高等学校—教学参考资料②电子技术—高等学校—教学参考资料

Ⅳ.TM—TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 076889 号

出版发行 天津大学出版社
出 版 人 杨欢
地 址 天津市卫津路 92 号天津大学内(邮编:300072)
电 话 发行部:022-27403647 邮购部:022-27402742
网 址 www.tjup.com
印 刷 天津泰宇印务有限公司
经 销 全国各地新华书店
开 本 185mm×260mm
印 张 8.75
字 数 220 千
版 次 2008 年 8 月第 1 版
印 次 2009 年 8 月第 2 次
印 数 4 001—9 000
定 价 16.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,烦请向我社发行部门联系调换

版权所有 侵权必究

前 言

本书以实用技术为主、理论为辅,系统介绍了电气工程技术 and 电子工艺在工程实践中应遵循的国际通用及国家颁布的相关技术标准和规范,并较详细地介绍了国内外先进的电气工程技术和产品,阐明了电气工程技术的基本原理和关键技术,提供了在电气工程典型设备中常用的低压电器的选型和使用方法,使读者能尽快掌握电气工程从设计、施工、验收到监理等重要环节的基本要求。

在电子工艺相关内容介绍中,较详细地阐述了电子产品从电路原理图的设计、元器件的选择、装配技术规范、工艺流程,到最终成为一个完整电子产品的主要过程。为了结合实践,重点设计了 12 个实训指导,以便帮助读者从基础理论、操作技能到综合创新能力都能得到深刻理解和全面提高。

本书由毛书凡主编,宗晓宁编写了第一章的第一节、第二节、第三节、第五章部分内容及附录 A,董超、刘皓编写了第六章部分内容及附录 B,全书其余内容由毛书凡编写。

由于本书涉及电气工程和电子工艺领域的内容较多,加之作者水平有限,难免存有缺陷和不足,欢迎读者批评指正。

编者
2008 年 2 月

工程实践系列丛书

编写委员会

主任委员	解 宁		
副主任委员	高 强	沈兆奎	
委 员	(以姓氏笔画为序)		
	毛书凡	刘 皓	刘艳玲
	陈广来	宗晓宁	禹国刚
	董 超	薛 明	

目 录

第一章 电工测量及安全用电	(1)
第一节 测量误差与仪表准确度	(2)
第二节 电流、电压和功率的测量	(3)
第三节 万用表与兆欧表的使用	(9)
第四节 安全用电常识	(14)
本章小结	(20)
第二章 电气工程基本常识	(22)
第一节 导线的安全载流量	(22)
第二节 导线的连接	(23)
第三节 内线电工设计与安装	(28)
第四节 配电箱的施工安装及工艺质量	(34)
第五节 住宅电气的布置与安全	(36)
本章小结	(38)
第三章 常用低压电器	(39)
第一节 开关	(39)
第二节 熔断器	(42)
第三节 接触器	(45)
第四节 继电器	(47)
第五节 主令电器	(53)
第六节 低压电器的常见故障与维修	(55)
本章小结	(58)
第四章 电气控制基本环节	(59)
第一节 电气制图标准简介	(59)
第二节 电气设备的安装与调试	(61)
第三节 电气设备的维修	(66)
本章小结	(70)
第五章 电子元件的识别及焊接工艺	(71)
第一节 电阻器、电感器、电容器的基本知识	(71)
第二节 晶体二极管	(79)
第三节 晶体三极管	(81)
第四节 锡钎焊与印刷电路板的制作工艺	(84)
第五节 电子工艺 — S M T	(89)
本章小结	(94)
第六章 实习与训练指导	(95)

实习一	直流电路的认识	(95)
实习二	正弦交流电路的认识	(99)
实习三	电阻、电感及电容的识别	(102)
实习四	电子电路的安装焊接	(104)
实习五	SMT 实习	(105)
实习六	电工常用工具的使用	(111)
实习七	低压开关的拆装与调试	(112)
实习八	接触器的拆装与调试	(114)
实习九	日光灯电路	(115)
实习十	室内照明线路的安装	(118)
实习十一	星形负载的三相电路及功率测量	(118)
实习十二	三相异步电动机的正反转控制	(121)
附 录		(123)
参考文献		(132)

第一章 电工测量及安全用电

电能以功率形式表达时称为电力。电力由发电厂产生,经过输送、变换和分配,到达分散的用户。图 1-1 表示从发电厂到用户的输配电过程。

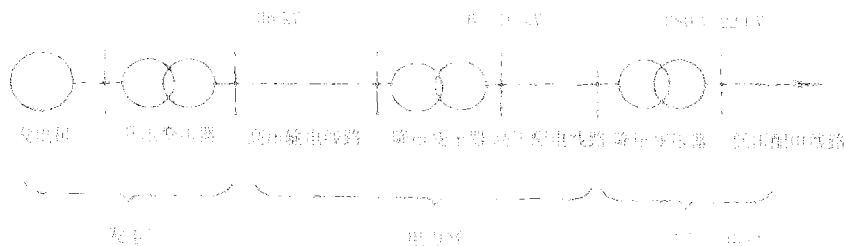


图 1-1 从发电厂到电力用户的输配电过程示意图

发电厂、电力网以及用户所组成的有机整体称为电力系统,它包括电能的生产、输送和分配等环节。

发电厂是把其他形式的能量(如热能、动能、核能等)转换成电能的场所。根据所用能源的不同,发电厂分为火力发电厂、水力发电厂等。在发电厂中,由发电机产生的电能电压较低,一般要先经厂内的升压变电所转换成高压,再送到外界的高压电力网。

电力网是电力系统的重要组成部分,它包括所有的变、配电所及各种不同电压等级的电力线路。电力网的作用是将电能输送、变换和分配给各用电单位。变电所是汇集电能、变换电压的中间环节,它由各种电力变压器和配电设备组成。不含电力变压器的变电所称为配电所。

凡取用电能的单位均称为电能用户,其中工业全厂用电量约为全国总发电量的 64%,是最大的电能用户。

从变压器二次侧至用户的用电设备采用 380/220 V 低压线路供电,称为低压供电系统。

小型工业和普通民用设施的供电,一般只需设立一个简单的降压变压器,电源进线为 10 kV,降为低压 380/220 V,供电系统如图 1-2 所示。照明、电热以及中、小功率电动机等用电设备的供电一般采用 380/220 V 三相四线制。三相四线制低压供电系统如图 1-3 所示。

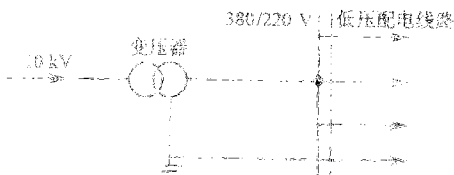


图 1-2 小型工业与民用设施低压供电系统

在图 1-3 配电所,可以看到测量电流、电压、功率等的各种仪表。要进行家用电能的计费,就需安装电能表(电度表)。此外,如果要测量空调的某些指标(如温度、风速等),就需要各种仪表将这些物理量转变为电量或电参量进行测量,这也是电工测量的任务。各种电子、电子产品生产、调试、鉴定和各种电气设备的使用、检测、维修等都离不开电工测量。电工测量仪表和电工测量技术的发展保证了生产过程的顺利进行,也为科学研究提供了有利条件。

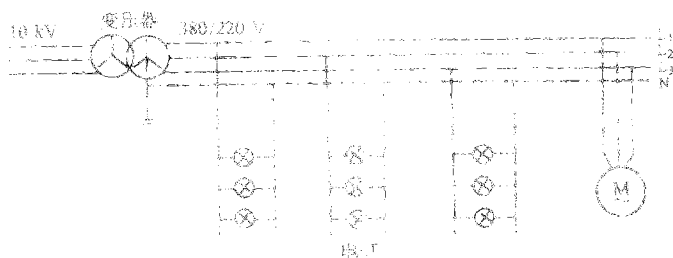


图 1-1 三相四线制低压供电系统

安全用电包括用电时的人身安全和设备安全。电气事故有特殊的严重性。当发生人身触电时,轻则烧伤,重则死亡;当发生设备事故时,轻则损坏电器设备,重则引起火灾或爆炸。由于人们经常接触各种电气设备,因此必须十分重视安全用电问题,防止电气事故的发生。

第一节 测量误差与仪表准确度

一、指示仪表的误差

无论采用什么样的仪表、仪器和测量方法,都会使测量结果与被测量的真实值(即实际值或简称真值)之间存在着差异,这就是测量误差。测量误差是由仪表本身存在的基本误差(即由结构不精确造成的固有误差)和外界因素(如温度影响、电磁干扰、测量方法不当、读数不准确等)引起的附加误差造成的。为了减小附加误差,应采取必要措施,使仪表在平常情况下进行测量,此时可认为测量误差仅由仪表基本误差造成的。

二、误差的表达形式

仪表误差有绝对误差和相对误差。

(1) 绝对误差

绝对误差即仪表的测量值 A_x 与真值 A_0 之差,表示为

$$\Delta = A_x - A_0 \quad (1-1)$$

绝对误差的单位与被测量的单位相同,绝对误差在数值上有正负之分。

(2) 相对误差

仅用绝对误差无法比较两次不同测量结果的准确性,例如用电流表测量 100 mA 的电流时,绝对误差为 +1 mA,再测量 10 mA 电流时,绝对误差为 +0.25 mA,虽然前者的绝对误差大于后者,但不能说明后者的测量比前者准确。要使两次测量能够进行比较,必须采用相对误差。

绝对误差 Δ 与被测量的真值 A_0 之比叫做相对误差,用 γ 表示,常以百分数表示为

$$\gamma = \Delta/A_0 \times 100\% \quad (1-2)$$

因为测量值 A_x 与真实值 A_0 相差不大,故相对误差也可近似表示为

$$\gamma \approx \Delta/A_x \times 100\% \quad (1-3)$$

在一般情况下,不考虑相对误差的正负,即取,可对式(1-3)中的 Δ/A_x 取绝对值。

三、指示仪表的主要技术指标

指示仪表的主要技术指标是准确度(也称精度,对力学量用相对误差表示)、仪表准确度是指在正常条件下进行测量可能产生的最大绝对误差(Δ)与仪表的最大量程(满标值) I_m 之比,通常用百分数表示为

$$\text{准确度} = \frac{\Delta}{I_m} \times 100\% \quad (1-11)$$

国家标准 GB 776—1976《电工测量指示仪表通用技术条件》规定,仪表准确度有七等,即 0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5、5.0 级。仪表在正常条件下使用时,各等级仪表的测量误差不得超过表 1-1 规定的值。

表 1-1 按准确度等级划分的最大误差

准确度等级	0.1	0.2	0.5	1.0	1.5	2.5	5.0
基本误差(%)	± 0.1	± 0.2	± 0.5	± 1.0	± 1.5	± 2.5	± 5.0

根据仪表准确度可以确定测量的误差。例如,若用精度为 0.5 级量程为 10 A 的安培表测量电流时,可能产生的最大绝对误差为

$$\Delta = I_m \times (\pm 0.5\%) = \pm 0.50 \times 10 \text{ A} = \pm 0.5 \text{ A}$$

在正常条件下,可以认为最大绝对误差为常数。若用上述安培表测量 8 A 电流时,相对误差为

$$\pm \frac{0.5}{8} \times 100\% = \pm 6.25\%$$

而用它测量 1 A 电流时,相对误差为

$$\pm \frac{0.5}{1} \times 100\% = \pm 50\%$$

可见,对于一只确定的仪表,测量值越小,测量时准确度越低。因此在选用仪表测量时,希望被测量的值接近满标值。但也要防止被测物理量第一代表数时,超过使被测值充满标值的 2/3 左右为宜。

思考题

1. 已知待测电压为 230 V, 今有两个电压表: 一个量程为 250 V, 等级 0.5 级; 另一个为 500 V, 等级 0.5 级, 应选哪个表测量更合适?
2. 用量程为 100 V 的 1.5 级电压表测量额定电压为 220 V 的电动机额定电压时, 相对误差各为多少?

第二节 交流电功率的测量

一、电工测量仪表的分类

电工仪表的种类繁多,有指示仪表、比较式仪表、数字式仪表和测量仪器等,本章主要介绍

几种常用的直接式仪表。这类仪表的特点是将被测量转换为仪表指针的偏转角,从而直接读出被测量的值。

指示仪表的分类如下:

- (1) 根据仪表工作原理分为磁电系仪表、电磁系仪表和电动系仪表等;
- (2) 根据测量对象的种类分为电流表(安培表、毫安表、微安表)、电压表(伏特表、毫伏表等)、功率表(瓦特表)、电阻表(兆欧表)、欧姆表、万用表等;
- (3) 根据被测电流的种类分为直流、交流和交直流两用仪表;
- (4) 根据仪表使用方式分为开关板式和便携式。

开关板式仪表安装于开关板或仪器的外壳上,准确度等级为1.0、1.5、2.5、5.0的仪表用于一般的工程测量,标准度等级为0.1、0.2的仪表通常用作计量标准仪表。

二、常用电工仪表的表盘符号

电工仪表表盘上的各种标记用来说明仪表的种类、准确度等级和使用方法等。常见电工仪表的表盘标记见表1-2。

表1-2 电工仪表的标记

类别	符号	名称	分类	符号	名称	分类	符号	名称
用途标志		直流表			磁电系仪表			水平使用
	$\sim$	交流表			电磁系仪表	直接安装		垂直使用
	$\sim$	交直流表			铁磁电动系仪表	直接安装		垂直使用
	$\sim$	三相交流表			电动系仪表			垂直使用
测量标志	A	电流表	有公共符号		电动系仪表	直接安装		实验条件
	V	电压表	有公共符号		(有磁屏蔽)			2 kV
	W	功率表			整流系仪表	直接安装		0.5级
	W_A	电能表			室外磁场能力(第一等级)			0.5级
					使用条件B级			

三、指示仪表

各种指示仪表主要由驱动装置、反作用装置与阻尼装置三部分组成。

1. 磁电系仪表

磁电系仪表又称永磁式仪表,测量机构如图1-4所示。在固定的永久磁铁的极掌与圆柱形铁芯之间的气隙中放置着绕在铁芯上的可动线圈(图1-4(a))。当可动线圈通入被测电流时,载流线圈与永久磁铁的磁场相互作用,产生电磁力 F (图1-4(b)),从而形成驱动力矩,带动指针偏转。驱动力矩 T 与电流 I 成正比。指针偏转时,与它相连的螺旋弹簧被扭转而产生

个反作用力矩 $T_{\text{反}}$ 与指针偏转角 α 成正比。当指针在某一位置上静止时, $T_{\text{反}} = T$, 可得 $\alpha = KI$, K 为常数。可见, 磁电系仪表的指针偏转角度与线圈中的电流成正比。因此, 可在表盘上均匀刻度, 并根据偏转角的大小读出被测电流的大小。当线圈中无电流而指针不在零位时, 可用调零器校正(称为机械调零)。

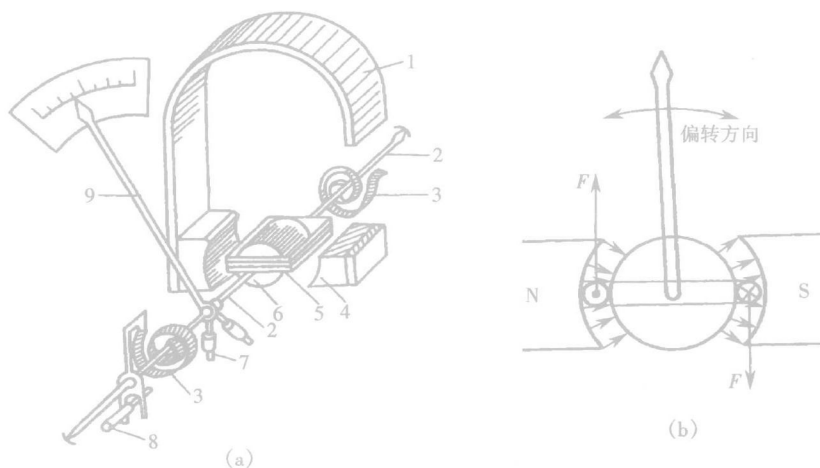


图 1-4 磁电系仪表测量机构

(a) 测量机构; (b) 工作原理图

- 1 永久磁铁 2 线圈 3 游丝 4 平衡 5 永久磁铁 6 扇形铁芯 7 平衡锤 8 游丝 9 指针

磁电系仪表的阻尼力矩是由绕制线圈的铝框产生的。当铝框随线圈一起转动时, 闭合铝框将切割磁力线, 在框内产生感应电流。该电流再与磁场作用, 使铝框受到与转动方向相反的制动力矩, 于是转动部分受到阻尼作用, 指针迅速静止在平衡位置。这是一种电磁阻尼。

若线圈中通入交流电, 由于电流方向的不断变化, 使得线圈的平均转矩为零, 指针不偏转, 因而磁电系仪表只能用于测量直流电。要测量交流电必须经过整流, 即将交流电变为直流电。

磁电系仪表准确度高, 刻度均匀, 耗电少, 不易受外界磁场的影响。但被测电流必须通过游丝, 线圈导线又很细, 所以过载能力差, 同时结构较复杂, 易损坏。

2. 电磁系仪表

图 1-5 为常用排斥型电磁系仪表的测量机构。当被测电流通过线圈 1 时, 电流磁场 B 使动铁片 3 和定铁片 2 同时磁化, 这两铁片的同一侧产生相同极性的磁极。这时, 应(定铁片相互排斥, 排斥力使动铁片转动而带动指针偏转。当驱动力矩与游丝 5 的反作用力矩平衡时, 指针就稳定地指在仪表刻度尺的一定位置上。

由于定、动铁片被磁化的程度近似地正比于线圈电流, 排斥力是由这两块铁片间的相互作用产生的, 所以驱动力矩 T 与线圈电流 I 的平方成正比。

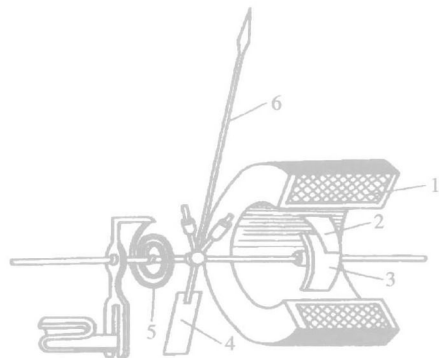


图 1-5 排斥型电磁性仪表测量机构

- 1 线圈 2 定铁片 3 动铁片
4 游丝片 5 游丝 6 指针

电磁系仪表的一种,由游丝产生恢复力矩与永久磁铁产生的驱动力矩与反作用力矩平衡,如图 1-10(a)所示。可见,电磁系仪表的偏转角近似地与线圈电流的平方成正比,因此表盘的刻度是不均匀的。

电磁系仪表测量交流电,其测量原理与测量直流电类似,但线圈的磁化方向随时反向,相互作用力的方向保持不变。一个完整周期,指针偏转角度与式(1-5)中电流有效值的平方成正比,因此,电磁系仪表的刻度是标称有效值或有效值的平方。

电磁系仪表的测量原理简单,测量误差小,产生一电磁系仪表结构简单、成本低、交流电压、电流测量能力强,但灵敏度低,易受外界磁场的影响。另外,测量交流电时,因铁片中磁滞回线,有迟滞现象。

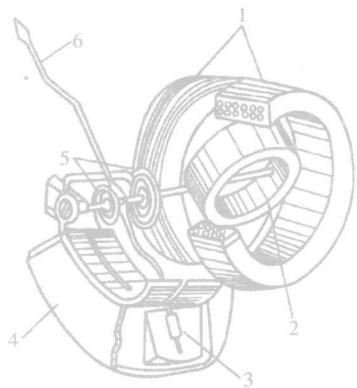


图 1-10 电磁系仪表的测量原理示意图
(a) 测量直流电 (b) 测量交流电
(c) 测量交流电时的平衡锤位置

1. 电磁系仪表

电磁系仪表是利用通有电流的固定线圈与可动线圈之间的力矩作用的仪表,测量原理如图 1-10(a)所示。线圈部分绕在框架上以产生均匀强磁场,可动线圈置于其中,当通入电流时,可带动指针在固定线圈内自由转

动,产生与电流成正比的作用力矩,磁感应强度与电流成正比。设此时可动线圈通入电流 I ,则形成驱动力矩 M ,如图 1-10(a)所示。随着可动线圈的偏转,游丝将产生反作用力矩 M_r ,当两个力矩平衡时,有 $M = M_r$,偏转角为 α 。

可见,电磁系仪表的偏转角与线圈通电流的乘积成正比。如果线圈通入的电流是交流电,电磁力的方向不会改变,驱动线圈的方向也不会改变。故电磁系仪表除能测

直流电外,还能测量交流电。

$$M = M_r = k I^2$$

(1-5)

式中, k 为与仪表的构造有关的系数, I 为线圈通过的电流。根据这个原理可以制成功率表和功率因数表。

电磁系仪表的测量原理简单,测量误差小,产生一电磁系仪表结构简单、成本低,交流电压、电流测量能力强,但灵敏度低,易受外界磁场影响和功耗较大,因此,电磁系仪表多用于测量较大的电流,为实验室测量交流两用电表或作为交流电压互感器使用。

四、电流、电压和功率的测量

1. 电流的测量

电流表的选用。测量直流电时,不可选用电磁系电流表;测量交流电流时,常用电磁系电流表,也可以用电动系电流表。

电流表量程的选择。根据被测电流的大小,选择电流表的量程,并使指针工作在满刻度 $2/3$ 的区域,以减小测量误差。当被测电流与量程的大小相同时,应选较大的量程进行测试,以减小测量误差,以免损坏电表。

电流表的接线方法。测量电流时,必须将电流表和被测电路串联。使用电磁系直流电流表

时,要由电流从表的“+”接线端钮流入,“-”接线端钮流出,否则,指针将反偏转而容易受损。为了不影响电路原有的工作状态,电流表的内阻应远小于电路的负载电阻,否则,测量的电流值将明显偏小。如果误将电流表和负载电路相并联,将有很大的电流流过电流表,可能将之烧毁,应避免发生这种事故。

4) 电流表量程扩大的方法:根据并联电阻分流的原理,在测量直流电流时,常在磁电系测量机构(又称表头)上并联阻值更小的电阻分流器,以制成多量程电流表。交流电流表量程的扩大,一般是将其电动系或电磁系测量机构的固定线圈分成几段,用线圈串、并联的方法实现(交流仪表测量机构的线圈既有电阻又有电感,用并联分流器的方法扩大量程,分流器很难做得准确)。测量大电流时,要正确选配电流互感器。

2. 电压的测量

1) 电压表的选择:磁电系电压表只能测量直流电压,电磁系和电动系电压表可以交、直流两用。

2) 电压表的量程选择:与电流表量程的选择类似,低压配电装置的电压一般为 380 V 或 220 V,测量时要注意安全。

3) 电压表的接线方法:要测量电路中某两点间的电压,应将电压表并联在这两点上。对于直流电压表,要注意电压表的“+”接线端钮接高电位点,“-”接线端钮接低电位点,否则指针反偏转仪表可能受损。为了减小电压表对电路(含电源)的影响,应使电压表的内阻远大于被测负载的电阻。电压表的内阻常标在表壳上,以量限灵敏度表示,如“30 k Ω /V”;若某直流电压表量程为 10 V,则其内阻为 $(30 \text{ k}\Omega/\text{V}) \times 10 \text{ V} = 300 \text{ k}\Omega$ 。内阻越大,测量越准确。

4) 电压表量程扩大的方法:根据串联电阻分压的原理,常用多量程电压表内装多个不同阻值的分压电阻(倍压器),可供多个量程选用。

3. 功率的测量

电功率是由电路中的电压和电流决定的,因此用来测量电功率的仪表必须有两个线圈:一个用于反映电压,一个用于反映电流。功率表通常用电动系仪表制成,用于串接入电路的固定线圈导线较粗,匝数较少,称为电流线圈;用于并联接入电路的线圈导线较细,匝数较多,串中有一附加电阻,称为电压线圈,如图 1-7 所示。改变线圈的串、并联,可以改变电流线圈的量程,改变串入线圈的附加电阻,可以改变电压线圈的量程。

1. 直流功率的测量

测量功率时,功率表的电流线圈应与负载串联,电压线圈(已包括附加电阻)应与负载并联,如图 1-7(a)所示。此外,还要注意把标有“+”或“-”标记的电压线圈端和电流线圈端按图 1-7(a)所示接于电源的同一端,使通过这两个线圈端电流的参考方向相同,否则指针将反偏转。

若功率表的电压量程为 U_n ,电流量程为 I_n ,表盘满刻度格数为 a_m ,则每一格所代表的瓦数(称分格常数)为

$$C_p = U_n I_n / a_m \quad (1-6)$$

测量时若指针偏转刻度格数为 a ,则被测功率为

$$P_x = C_p a \quad (1-7)$$

(2) 单相交流功率的测量

由式(1-5)可知,在测量交流电时,电动系仪表偏转角 α 除了正比于两线圈电流有效值的

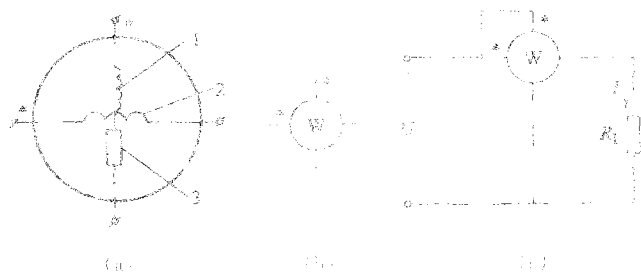


图 1-7 功率表

(a)内部构造;(b)符号;(c)电路
1—电流线圈;2—电压线圈;3—控制电阻

乘积外,还正比于两电流相位差的余弦。由于功率表电流线圈中有阻值很大的附加电阻,与电阻相比,感抗可以忽略不计,故可认为通过电压线圈的电流与负载电压同相。而通过电流线圈的电流 i 为负载电流,可是两电流的相位差近似等于负载的功率因数角,所以电动系功率表的偏转角与交流电的平均功率($P = UI \cos \varphi$)成正比。

综上所述,电动系功率表既可测量直流电功率,又可测量交流电功率,而且接线和读数的方法完全相同。

思考题

1. 使用直流仪表时,要注意测量线与端钮的正确连接,而使用交流仪表时,是否要考虑极性问题,为什么?
2. 若误将直流电压表与被测电压电路串联,会出现什么现象?
3. 图 1-8 所示两条电表刻度有何不同?它们各用于何种仪表?

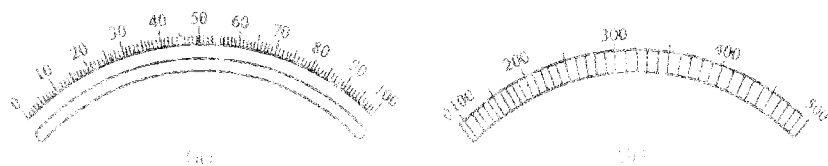


图 1-8 思考题 3 图

4. 在运输灵敏度很高的直流电流表时将“+”“-”接线端钮短路,可以发现,当左右摇晃电流表外壳时,与不短路相比,指针摆动的幅度要小得多,这样就可以保护指针不致左右摇晃太剧烈而损坏。请分析其原理。

5. 某负载的电流和功率大于功率表的额定值,但电压小于功率表的额定值,能否用此功率表测量该负载的电功率?

第三节 万用表与兆欧表的使用

一、万用表

万用表的基本用途是测量电流、电压和电阻,有的还可以测量电容、电感、晶体管参数以及频率等。万用表使用方便、便于携带,是电路实验和电气维修的常用工具。下面分别介绍指针式和数字式万用表的原理和使用方法。

(一) 指针式万用表

1. 万用表的结构及工作原理

万用表主要由表头、测量电路、转换开关等组成,简化原理电路如图 1-9 所示。万用表用一只磁电系表头测量多种物理量并具有多种量程,是通过转换开关实现的。

当转换开关 S 置于“mA”位置时,万用表就成了直流毫安表;当转换开关 S 置于“V”位置时,万用表就成了直流电压表;当转换开关 S 置于“ $\tilde{V}$ ”位置时,利用二极管整流电路,万用表可用来测量低频正弦电压;当转换开关 S 置于“ Ω ”位置时,万用表可以测量电阻。

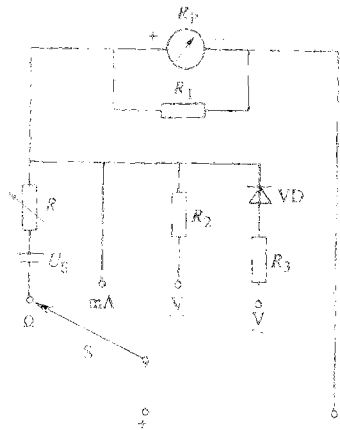


图 1-9 万用表简化原理图

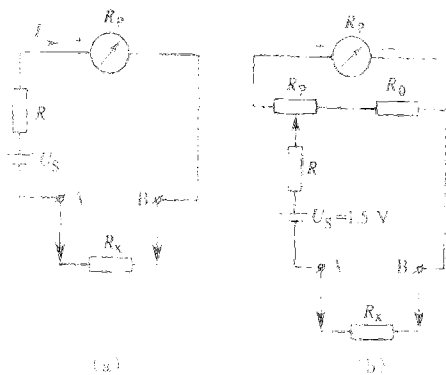


图 1-10 万用表欧姆档原理图

(a) 欧姆档简化原理图; (b) 分压式欧姆调整器

图 1-10(a) 为万用表欧姆档的简化原理图, 表头内阻为 R_p , 表内装有固定电阻 R 。若表笔 A、B 间接上被测电阻 R_x 后, 电池端电压为 U_s , 则通过磁电系测量机构的电流为

$$I = U_s / (R_p + R + R_x) \quad (1-8)$$

由于 U_s 、 R_p 、 R 均为常数, 故 I 只随被测电阻 R_x 而改变, 可见仪表指针的偏转可以反映 R_x 的大小。

当 R_x 趋 ∞ (即 A、B 两端钮开路) 时, $I = 0$, 指针不偏转, 欧姆表的刻度应为“ ∞ ”; 当 $R_x = 0$ (即 A、B 两端钮短路) 时, 选择适当的 R 可使 $I = I_0$, 指针满偏, 欧姆表的刻度应为“0”。可见, 欧姆表的刻度是反向的, 同时是不均匀的。当 $R_x = R_p + R$ 时, $I = I_0/2$, 指针偏转到刻度尺的中间位置, 此值表示了欧姆表内阻的大小, 称为欧姆表的欧姆中心电阻值。由于刻度的不均匀性, 测量时应尽可能使指针在中心值附近, 以提高测量准确度。若 R 取不同阻值, 就构成了多量程的万用表欧姆档。

欧姆表的满偏电流直接受表内电池电动势 E 的影响,而电池端电压又随使用和时间增加而逐渐下降。这使得 $R_x = 0$ 时,指针不能准确偏转到满偏位置的欧姆零位,使测量结果偏大。为了减小这种误差,常采用图 1-15 所示的分流式零欧姆调整器。通过改变调整器 R 的滑动触头位置,可改变与磁电系测量电阻 R_x 串联和并联的电阻,使分流关系改变,从而在 R_x 下降的情况下, $R_x = 0$ 时,也能使指针回到零位。为了方便调整, R 的旋钮装在仪表的面板上,并标有相应的标记。

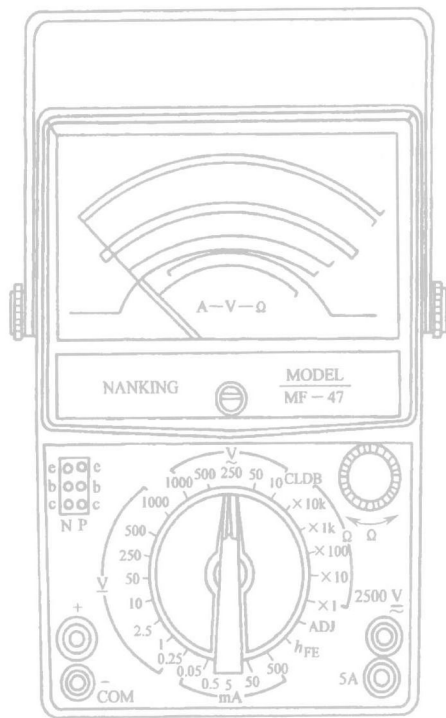


图 1-11 MF-47 型万用表

2. 万用表的使用

图 1-11 为 MF-47 型万用表,现以此为例说明万用表的一般使用方法。

(1) 根据测量对象选择量程

万用表的测量对象多、量程多,使用前要弄清面板上各档位的测量范围。使用时一定要注意转换开关的测量档位,否则可能损坏仪表。如果不知道被测量的大小,应先从最大量程开始试测,然后减小到合适的量程进行测量,以防打坏指针。在选择档位时应尽可能使指针指示在标尺位置的 $2/3$ 区域(测量电阻时例外)。测量完毕时,应将转换开关置于交流电压最高档或空挡上。

(2) 接线要正确

① 将红表笔接“+”插孔,黑表笔接“-”插孔。测量电流时,表笔串联在被测电路中;测量电压时,表笔与被测电路并联。注意,测量直流电时,电流从“+”插孔流进,“-”插孔流出。测量电阻时,首先要切断被测电阻的电源,然后检查该电阻与其他电路的连接是否断开。同时避免双手同时接触表笔金属部分。5 A 和 2.500 A 量程为单独插孔。使用 5 A 电流插孔时,应将转换开关置于 500 μA 量程档位。使用 2.500 A 电流插孔测量直流或交流电流时,应将转换开关置于直流或交流电流 < 2.500 A 量程档位。

(3) 操作要正确

使用万用表要胆大心细,使用前做到心中有数,并注意以下几点。

① 测量电阻时,每次更换量程都要先将两表笔短接,进行零欧姆调整,然后选择合适量程,使指针位于刻度尺的中段,以减小误差。用欧姆表测量电子器件时要特别注意,红表笔插入的正插孔为低电位端,黑表笔插入的负插孔为高电位端(图 1-9)。

② 不能在通电情况下切换转换开关。

③ 测量高压时要有足够的绝缘及相应的技术措施(如操作人员应穿绝缘鞋并站在绝缘垫上)。

(4) 读数要正确

由于测量不同电量都共用一个表头,所以,要弄清被测量在哪条刻度尺读数。不可交直流