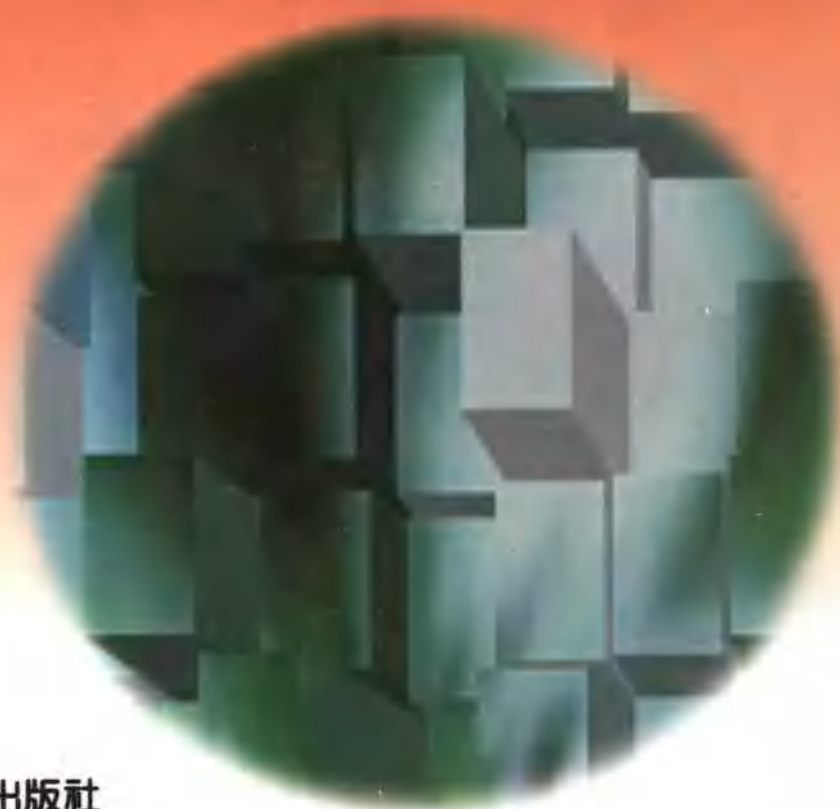


山东省普通高等学校试点课程教材

电工电子实践教材

电工电子 测量与实验

主编 单亦先 郝宁眉



石油大学出版社

山东省普通高等学校试点课程教材

电工电子实践教材

电工电子测量与实验

主编 单亦先 郝宁眉

图书在版编目(CIP)数据

电工电子测量与实验/单亦先主编. —东营:石油大学出版社, 2000. 7

(电工电子实践)

ISBN 7-5636-1362-5

I. 电… II. 单… III. 电气测量; 电子电路-实验
IV. TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 32029 号

电工电子实践教材

电工电子测量与实验

主编 单亦先 郝宁眉

责任编辑:宋秀勇(电话 0546-8392139)

封面设计:傅荣治

出版者:石油大学出版社(山东东营,邮编 257062)

网 址: <http://sunctr.hdpu.edu.cn/~upcpress>

电子信箱: upcpress@sunctr.hdpu.edu.cn

印刷者:泰安开发区成大印刷厂

发行者:石油大学出版社(电话 0546-8392563)

开 本: 787×1092 1/16 印张:10.375 字数:266 千字

版 次:2000 年 9 月第 1 版第 1 次印刷

印 数:1—6000 册

全套定价:29.60 元

本册定价:14.80 元

前 言

电工电子学是高等院校工科各专业的一门重要的技术基础课,是培养能力的重要课程,其特点是发展快、实践性强、应用广泛,并日益深入到各个学科领域。为了培养学生的实验技能,培养学生应用所学知识分析问题、解决问题的能力,培养学生的创新意识和严谨的科学作风,提高学生素质,石油大学电工电子学教研室组织编写了《电工电子测量与实验》一书,该书经山东省教育厅批准为“山东省普通高等学校试点课程教材”。本书介绍了电工电子测量与实验的必要的基础知识,提供了集设计性、研究性、综合性于一体的较多的实验项目,尤其注重了对学生可持续发展能力和创新能力的培养,并适应了山东省试点课程《电工电子学》的教学需要;该书具有以下特点:

1. 便于自学 本书每部分实验内容分三个层次,即基本实验、设计实验、综合实验,实验项目多、信息量大,内容安排上循序渐进,学生完全可以通过自学逐步掌握全部内容。教师在内容的选取上,基本实验和部分实验项目应留给学生自己完成,本书适应了实验室开放的需要。

2. 注重创新 本书以学生设计能力和创新能力培养为主线设计实验内容,教学方法上注重将以教师“教”为中心特变为以学生“随意设计”为中心,充分调动学生的积极性;提倡开展多方位的实验模式,如采用发放实验器材给学生,使学生随时随地可以做实验;利用提供的实验仿真软件或通过网上实验室,使虚拟实验与实验室做实验相结合等实验模式。

3. 内容新颖 电子电路的计算机辅助设计是电子系统设计不可缺少的环节,在工程实际中正发挥着越来越重要的作用。本书编排了 Electronic Workbench EDA 实验内容,使读者可以通过设计型、创新型、纠错型等不同形式的针对性训练培养学生的工程实际观点和科学的工作作风。可编程逻辑器件是近几年国际上迅速发展起来的一类新型器件,是数字电子技术的发展方向,本书安排了这方面的实验内容。

全书共分七章,其中一、二、三、五章由单亦先编写,第四章由郝宁眉编写,第六章由张红岩编写,第七章由任旭虎编写,全书由单亦先统稿。

本书的命名、结构和创意由刘润华教授提出,并且在编写过程中对本书提出了指导性意见和具体建议。在编写过程中,得到了山东省教育厅高教处、石油大学教务处等有关领导的大力支持,也得到了石油大学电工电子学教研室许多老师的帮助,魏瑞英、杨东方、丁轶成等老师试做了全部实验,刘复玉、孙洪涛、张锡珍也参加了本书的编写工作,在此一并表示感谢。

读者应本着实事求是和实践是检验真理的标准的观点使用该书,在实践中培养自己的创新精神和创新意识,并诚恳地希望提出宝贵意见,以便再版时修改提高。

编 者

2000年7月

目 录

第一章 电工测量及仪表	(1)
§ 1.1 测量的有关概念及测量误差	(1)
§ 1.2 电工测量仪表的基本知识	(4)
§ 1.3 万用表与兆欧计	(10)
§ 1.4 常用电量的测量	(15)
第二章 常用电子仪器及使用	(21)
§ 2.1 电子示波器	(21)
§ 2.2 LAG-27 型低频信号发生器	(27)
§ 2.3 DA-16 型晶体管毫伏表	(29)
§ 2.4 数字电压表	(30)
§ 2.5 JW-3 型直流稳压稳流电源	(32)
第三章 常用电工电子元器件	(33)
§ 3.1 电阻器与电位器	(33)
§ 3.2 电容器	(37)
§ 3.3 继电器	(40)
§ 3.4 半导体分立器件	(42)
§ 3.5 集成电路	(50)
附录 集成电路引脚功能	(55)
第四章 电工实验	(62)
§ 4.1 基本实验	(62)
实验一 万用表的使用练习	(62)
实验二 直流短传输线	(64)
实验三 日光灯及功率因数的提高	(67)
实验四 三相交流电路	(69)
实验五 三相功率的测量	(70)
实验六 变压器与磁路	(72)
实验七 异步电动机的使用	(74)
实验八 异步电动机的基本控制	(77)
§ 4.2 设计实验	(80)
实验一 万用表电路的设计与校验	(80)
实验二 含源二端网络输出特性及等效参数的测定	(83)
实验三 照明电路的设计与安装	(84)
实验四 继电-接触控制电路的设计	(85)
§ 4.3 综合实验	(86)
实验一 RLC 串联电路的研究	(86)

实验二	RC 电路的时域响应研究	(89)
实验三	异步电动机的时间控制	(92)
实验四	直流他励电动机	(94)
实验五	PLC 及其应用(演示实验)	(97)
第五章	模拟电子技术实验	(100)
§ 5.1	基本实验	(100)
实验一	常用电子仪器的使用练习	(100)
实验二	单管交流放大电路	(101)
实验三	放大器的输入、输出电阻和幅频特性的测量	(102)
实验四	结型场效应管的特性及源极输出器	(105)
实验五	RC 正弦波振荡器	(107)
实验六	集成运算放大器的参数测定	(109)
实验七	整流滤波稳压电路	(111)
§ 5.2	设计实验	(114)
实验一	电压串联负反馈电路	(114)
实验二	运算电路实验	(114)
实验三	集成电压比较器的应用	(116)
实验四	波形产生电路	(119)
实验五	有源滤波器	(119)
实验六	集成功率放大器的设计	(120)
实验七	三端稳压器的应用	(121)
§ 5.3	综合实验	(122)
实验一	简单收音机和扩音机实验	(122)
实验二	三极管 β 值分选电路	(124)
实验三	光电耦合线性放大器	(125)
实验四	函数信号发生器	(127)
实验五	电话放大器	(129)
实验六	语音提示和告警电路	(131)
实验七	三相异步电动机多功能保护器的设计与实验	(132)
第六章	数字电路实验	(135)
§ 6.1	基本实验	(135)
实验一	TTL 与 CMOS 门电路参数及逻辑功能测试	(135)
实验二	触发器的功能测试	(136)
实验三	PLD 触发器功能测试及组合电路冒险现象的观察	(137)
§ 6.2	设计实验	(140)
实验一	小规模组合逻辑电路的设计	(140)
实验二	中规模组合逻辑电路的设计	(140)
实验三	isp PLD 组合逻辑电路的设计	(141)
实验四	集成触发器应用电路设计	(143)
实验五	集成计数器及其应用	(144)

实验六 用 isp PLD 实现任意进制计数器	(145)
实验七 波形产生和整形电路	(147)
§ 6.3 综合实验	(147)
实验一 数字钟	(147)
实验二 简易频率计的设计	(147)
实验三 十字路口交通灯的简单控制	(149)
第七章 仿真实验	(150)
实验一 差动放大电路	(150)
实验二 移相电路和陷波电路	(151)
实验三 高阶滤波器的研究	(152)
实验四 加法器的设计	(156)

第一章 电工测量及仪表

§ 1.1 测量的有关概念及测量误差

测量是指通过试验的方法,去测定一个未知量的大小,这个未知量叫做“被测量”。一个量在被测量时,该量本身所具有的真实大小称为“真值”。在测量中由于人们对客观认识的局限性、测量器具不准确、手段不完善、测量条件发生变化及测量工作中的疏忽等原因,都会使测量结果与真值不同,这个差值就是测量误差。

一、仪表误差及误差表达方式

对于各种电工指示仪表,无论制造得如何精细及其质量如何优良,它的测量值与被测量的真值之间总是存在着某种程度的差异,这个差异称为仪表误差。仪表误差越小,说明仪表的测量值与实际值越接近。因此,仪表的准确度用误差的大小来说明。

1. 仪表误差的分类

(1) 基本误差。仪表在正常工作条件下,由于活动部分的摩擦、标尺刻度不准、零件装配不当等原因造成的误差,都属于仪表的基本误差。这是仪表本身固有的一种误差。

(2) 附加误差。当仪表工作超出规定的正常工作条件,如环境温度、电源电压、频率等因素偏离规定的正常条件时,都会造成额外的误差。这种由于工作条件的改变而造成的额外误差称为仪表的附加误差。

2. 误差表示方式

(1) 绝对误差。仪表的指示值(A_x)和被测量的真值(A_0)之间的差值称为绝对误差。绝对误差以 ΔA 表示,即

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

当 $A_x > A_0$ 时, ΔA 是正值; $A_x < A_0$ 时, ΔA 是负值,所以绝对误差是具有大小、正负和量纲的数值,它的大小和符号分别表示指示值偏离真值的程度和方向。计算时,可用标准表(用作校正工作仪表的高准确度仪表)的指示值作为被测量的真值。

由式(1-1)可推得

$$A_0 = A_x + (-\Delta A) = A_x + c \quad (1-2)$$

式(1-2)中, $c = -\Delta A$ 称为修正值(更正值、校正值)。修正值与绝对误差的绝对值大小相等,符号相反。引入修正值,就可以对仪表指示值进行校正,消除其误差,得到被测量的实际值。

(2) 相对误差。测量不同大小的被测量时,不能简单地用绝对误差来判断其准确程度。例如,甲表在测量 100 V 电压时,绝对误差 $\Delta A_{甲} = +1$ V,乙表在测量 10 V 电压时,绝对误差 $\Delta A_{乙} = +0.5$ V,从这里的绝对误差来看,甲表大于乙表。但从仪表误差对测量结果的相对影响来看,却是乙表较大。因为甲表的误差只占被测量的 1%,而乙表的误差占被测量的 5%,所以乙表误差对测量结果的相对影响更大。因此,工程上通常采用相对误差来衡量测量结果的准

确程度。

相对误差就是绝对误差 ΔA 与被测量真值 A_0 的比值。通常用百分数来表示,用符号 r 表示相对误差,即

$$r = \frac{\Delta A}{A_0} \times 100\% \quad (1-3)$$

在误差较小,要求不太严格的场合,可用仪表的指示值代替实际值计算相对误差。即

$$r = \frac{\Delta A}{A_x} \times 100\% \quad (1-4)$$

(3) 引用误差。相对误差能表示测量结果的准确程度,却不能说明仪表本身的准确性能。同一块仪表,在测量不同的被测量时,由于摩擦等原因造成的绝对误差 ΔA 变化不大,但随着被测量的变化,仪表的指示值可在整个刻度范围内变化。因此,对应不同大小的被测量,就有不同的相对误差,我们很难用相对误差全面衡量一只仪表的准确性能。

例 1-1 一只测量范围为 $0 \sim 250 \text{ V}$ 的电压表,在测量 200 V 电压时,绝对误差为 $+1 \text{ V}$ 。在测量 10 V 电压时,绝对误差为 $+0.9 \text{ V}$,求它们的相对误差。

解 测量 200 V 电压时,相对误差为

$$r_1 = \frac{1}{200} \times 100\% = 0.5\%$$

测量 10 V 电压时,相对误差为

$$r_2 = \frac{0.9}{10} \times 100\% = 9\%$$

可见,随着被测量的变化,相对误差也跟着变化。因此就提出了引用误差,以便更好地反映仪表的基本误差。

引用误差是指绝对误差 ΔA 与仪表测量上限(仪表的满刻度值)比值的百分数,用 r_m 表示。即

$$r_m = \frac{\Delta A}{A_m} \times 100\% \quad (1-5)$$

由于仪表的测量上限是一个常数,而仪表的绝对误差又大体不变,所以可用“引用误差”来表示仪表的准确度。引用误差实际上是测量上限的相对误差。

国家标准规定用最大引用误差来表示仪表的准确度等级,即在正常工作条件下,仪表进行测量时,纯由基本误差构成的最大绝对误差 ΔA_m 与仪表量程 A_m 之比。准确度等级用 K 表示,其表达式为

$$\pm K\% = \frac{\Delta A_m}{A_m} \times 100\% \quad (1-6)$$

例 1-2 用准确度为 0.5 级和上限为 10 A 的电流表测量 4 A 电流时,求其最大可能出现的相对误差。

解 由式(1-6),该电流表最大绝对误差的绝对值为

$$|\Delta A_m| = |K \times A_m / 100| = |0.5 \times 10 / 100| = 0.05 \text{ (A)}$$

测 4 A 电流时,可能出现的最大相对误差为

$$r = \frac{\Delta A_m}{A_x} \times 100\% = \frac{0.05}{4} \times 100\% = 1.25\%$$

由此可见,在一般情况下,测量结果的准确程度(其最大相对误差),并不等于仪表的准确度,两者不能混淆。因此,选用仪表时,不仅要考虑仪表的准确度,还要根据被测量的大小,选择合适的仪表量程,才能保证测量结果的准确性。

例 1-3 用 0.2 级和上限量程为 100 A 的电流表测 4 A 电流时,求其最大相对误差。

解 由式(1-6)得出该表的最大绝对误差的绝对值为

$$|\Delta A_m| = |K \times A_m / 100| = |0.2 \times 100 / 100| = 0.2 \text{ (A)}$$

测 4 A 时,可能出现的最大相对误差为

$$r = \frac{\Delta A_m}{A_x} \times 100\% = \frac{0.02}{4} \times 100\% = 5\%$$

可见,仪表的准确度虽然提高了,但测量的最大相对误差反而增大了。所以只片面追求仪表的准确度等级,而忽略对仪表量程的合理选择,就无法保证测量结果的准确性。因此,选择仪表时应使被测量值处在仪表量程的 2/3 以上。

二、测量误差的来源及分类

根据误差的性质不同,测量误差一般分为系统误差、随机(偶然)误差和疏忽误差。

1. 系统误差

在相同条件下,多次测量同一量值时,误差的绝对值和符号保持不变,或条件改变时,按一定规律变化的误差称为系统误差。产生系统误差的原因有以下几种:

(1) 测量用仪器仪表在设计 and 制作上的缺陷。如刻度的偏差、仪表的零位偏移、刻度盘或指针安装偏心等。

(2) 测量时的实际温度、湿度及电源电压等环境条件与仪器仪表要求的工作条件不一致。

(3) 采用近似的测量方法或近似的计算公式等。

(4) 测量人员读数时,习惯偏于某一方向或有滞后倾向等原因引起的误差。

2. 随机误差

在相同条件下,多次测量同一量值时,绝对值和符号均以不可预定方式变化的误差称为随机误差。产生随机误差的原因有以下几种:

(1) 测量用仪器仪表中零部件之间的配合不符合要求或产生噪声等。

(2) 温度及电源电压的频繁波动、电磁场干扰、台基振动等。

(3) 测量人员读数的无规律、不稳定等原因所引起的误差。

3. 疏忽误差

测量时,由于疏忽引起的测量值明显地偏离实际值所形成的误差称为疏忽误差。产生疏忽误差的原因有以下几种:

(1) 在测量中,测量人员疏忽造成的错误读数、错误操作或记录等。

(2) 测量条件的突然变化,如电源电压、机械冲击等原因产生的疏忽误差。

三、减小测量误差的方法

经过测量取得测量数据后,通常要对这些数据进行分析、整理、计算,有时还要画成表格和曲线,利用误差分析的方法,进行数据处理,得出正确结论。

对于测量的误差值,一般只取 1 位到 2 位数字,即常在有效数字后给出 1 到 2 位数字,这样表示的测量结果数值称为有效安全数字。对于一个测量结果应该如何表示,目前国内外尚无统一规定。总的来说,只要表示的测量结果能正确反映被测量的大小,同时数据表达不过于冗

长就可以了。

1. 系统误差的减小

系统误差的特点是在测量条件一定时,误差为一确定数值。虽然产生系统误差的原因是多方面的,但总是有规律的。对其产生误差的根源采取一定的技术措施,就能减小系统误差的影响。如仪器不准,通过检验取得修正值以减小系统误差,或者是选择合理的测量方法,配置适当的仪器仪表并对仪表及时地进行校正。

2. 随机误差的减小

这一类误差的特点是在多次测量中,误差绝对值的波动有一定的界限,正负误差出现的机会相同。因此,可以通过取多次测量值的平均值的办法来消除随机误差。

3. 疏忽误差的减小

凡是由于疏忽误差所造成的明显错误数据称为坏值,应当剔除不用。

§ 1.2 电工测量仪表的基本知识

电工测量仪表的种类很多,按被测量的名称可分为:电压表、电流表、功率表等;按工作原理可分为:电磁式仪表、电动式仪表、感应式仪表、整流式仪表等。

一、常用电工仪表的主要技术指标

为了保证仪表测量结果的准确、可靠,使用电工仪表时应注意以下几项技术指标。

1. 准确度

目前,我国生产的电工指示仪表的准确度按国家规定分为七级,它主要根据仪表的基本误差来确定。正常使用时,相应的基本误差不应超出表 1-1 所规定的数值。

表 1-1 仪表的准确度等级

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

通常 0.1 与 0.2 级仪表多用作标准表,0.5 级与 1.0 级多用于实验室测量,1.5 级以上多用于工业测量。选用仪表时,不仅要考虑仪表的准确度等级,还要根据被测量的大小,选择合适的仪表量程,使被测量数值处在仪表量程的 1/2 或 2/3 以上,才能保证测量结果的准确性。

2. 灵敏度

在电工指示仪表中,被测量的变化将引起仪表指针偏转角的变化。如果被测量变化了 Δx ,引起偏转角相应变化 $\Delta \alpha$,则 $\Delta \alpha$ 与 Δx 的比值定义为仪表的灵敏度,用 s 表示。即

$$s = \Delta \alpha / \Delta x \quad (1-7)$$

对于标尺刻度均匀的仪表,其灵敏度是一个常数,且等于单位被测量所引起的偏转角位移。对于标尺刻度不均匀的仪表,其灵敏度是一个变量。在标尺刻度较密的部分,灵敏度低,读数误差较大。

灵敏度表示了仪表对被测量的反应能力,也反映了仪表所能测量的最小被测量。选择仪表的灵敏度时,要考虑被测量的要求,灵敏度过高,仪表的量程可能太小;灵敏度过低,仪表不能反应出被测量的较小变化。因此,要恰当地选择灵敏度合适的仪表,不应片面追求高灵敏度。

有些仪表使用“仪表常数”(即灵敏度的倒数)或“分辨率”来表示对被测量的反应能力,例如分辨率 $2\mu\text{V}$,即仪表对 $2\mu\text{V}$ 电压变化有明显的反应。

3. 仪表的功率损耗

仪表接入电路时,仪表本身也要损耗一定的能量。如果仪表损耗的功率过大将对被测电路产生大的影响,必然造成测量误差的增大。因此,仪表本身的功率损耗应尽量小。

4. 读数装置

仪表的标度尺上的刻度应尽量均匀,以利于读取数值。标度尺刻度不均匀的仪表,在分度线密集的位置上,灵敏度低,读数误差大,在这部分标度尺上进行测量时,读数不能保证应有的准确度。因此,对标度尺不均匀的仪表,要求在刻度盘上标明其工作部分。一般规定其仪表工作部分的长度不应小于标度尺全长的 85%。

5. 仪表的阻尼装置

由于仪表可动部分的惯性,当接入被测量或被测量突然变化时,指示器不能迅速稳定在指示值上,而在稳定位置上左右摆动,以致不能迅速取得测量读数。为减少指示器摆动时间,仪表都设有阻尼装置。

仪表阻尼是否良好,通常用阻尼时间衡量。所谓阻尼时间是指仪表从接入被测量开始到指示器在稳定位置左右的摆动不大于标度尺全长的 1% 为止的时间。按规定普通仪表的阻尼时间应不超过 4 s。质量好的仪表,阻尼时间只有 1.5 s 左右。

6. 绝缘强度和过载能力

仪表的电气线路和外壳之间应有良好的绝缘,以保证仪表在正常工作和使用时的安全。绝缘强度是指仪表的绝缘电阻所能耐受的试验电压数值。

过载能力是指当仪表的负载超过额定值以上时,仪表所承受的程度。一种情况是,当负载超过额定值并延续一段时间后,引起仪表有关部分升温,这种过载称为热过载或延时过载。如果仪表质量较差,则升温过高,可使仪表损坏。另一种情况是,仪表的负载突然超过额定值,则在测量机构转动力矩作用下,仪表可动部分迅速冲向极限位置发生机械撞击,这种过载叫机械过载或短时过载。如果是质量较差的仪表,短时过载可能引起仪表内部元件的机械损坏,如指针撞断或阻尼板变形等。

在实际应用中,由于仪表过载是在所难免的,因此,各式各样的仪表均要具有一定的过载能力。

电工指示仪表的技术特性各不相同,为便于选择和使用,常把这些技术特性用不同的符号标示在仪表的表盘上,用它来表明仪表的类型、测量对象、测量范围、准确度等级和使用条件等等。电工仪表常用标记符号见表 1-2。

表 1-2 电工仪表常用的标记符号

分类	符号	名称	分类	符号	名称
电流种类	—	直流	准确度等级	1.5	以标尺量限的百分数表示
	~	交流		(1.5)	以指示值的百分数表示
	≍	直流和交流	绝缘试验	☆ (或 2kV)	绝缘强度试验电压
测量对象	(A)	电流表	标尺位置	⊥	标尺位置为垂直的
	(V)	电压表		┌	标尺位置为水平的
	(W)	有功功率表	端钮和调零器	+	正端钮
	kWh	电度表		-	负端钮
工作原理		磁电式仪表		✕	公用端钮
		整流式仪表			调零器
		电磁式仪表	按外界条件分组	△B	B 组仪表
		电动式仪表		△C	C 组仪表
		磁电式比率表 (磁电式流比计)		III	防外磁能力为Ⅲ级

二、磁电式仪表

图 1-1 为磁电式仪表的测量机构和工作原理示意图。

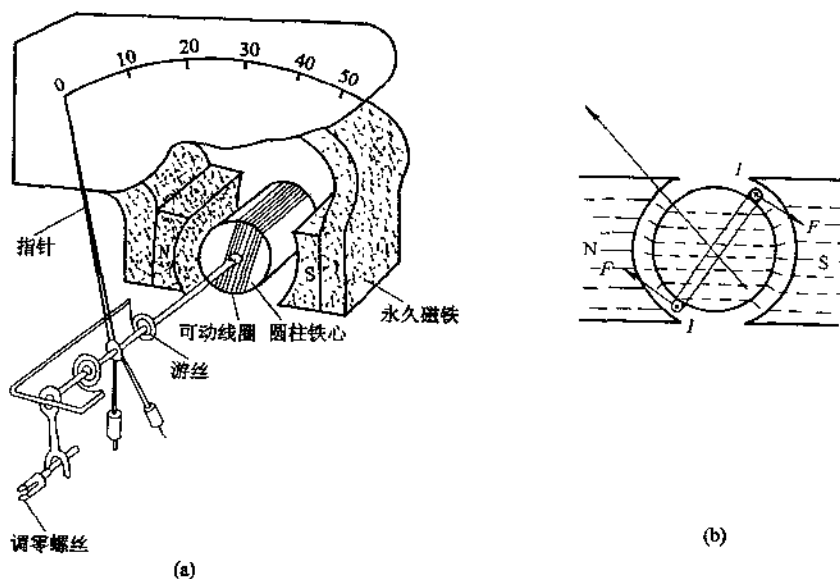


图 1-1 磁电式仪表测量机构和工作原理示意图

1. 磁电式仪表的结构与工作原理

永久磁铁的磁场与通有直流电流的可动线圈相互作用而产生偏转力矩 ($M = k_1 I$), 使可动

线圈(简称线圈)发生偏转。同时与动圈固定在一起的游丝因动圈偏转而变形,产生反作用力矩($M_a=k_2\alpha$)。当反作用力矩与转动力矩相等时,活动部分最终停留在相应的位置,指针在标度尺上指示出被测量的数值。指针的偏转角与通过动圈的电流成正比,即 $\alpha=(k_1/k_2)I$ 。因此,标度尺上的刻度是均匀的(线性标尺)。

动圈里的铝框架具有阻尼作用,铝框架产生的力矩总是与动圈偏转方向相反,从而阻止动圈来回摆动,使动圈尽快稳定下来。

2. 磁电式仪表的特性

磁电式仪表的特性主要包括以下几个方面:

- (1) 只能测量直流。
- (2) 刻度均匀,标度尺成线性。
- (3) 受外磁场影响小。
- (4) 过载能力差,不能承受振动。
- (5) 功耗低、灵敏度及准确度较高。准确度可达 0.1 级至 0.05 级。
- (6) 加接整流器后可用于交流测量。

3. 磁电式仪表的应用

(1) 作直流电流表用。磁电式测量机构(又称表头)的电路符号如图 1-2 所示。由于引入测量机构动圈中的电流须通过游丝,所以电流不能过大,否则游丝因过热而性能变差,一般表头的额定电流只有几十到几百微安,因此不能测量大的电流。当需要测量大电流时,表头须并联分流电阻来扩大仪表的量程。

(2) 作直流电压表用。磁电式测量机构的内阻一般为近百欧到几千欧,所以表头的电压降只有几十到几百毫伏。若要扩大电压量程,可在表头上串联一个适量的附加电阻。

(3) 作交流电压表用。用作交流电压表的工作原理是将被测交流电压整流、放大后,经磁电式表头指示交流电压值。它的特点是测量交流电压的频率范围宽,有足够大的输入阻抗和较高的灵敏度。

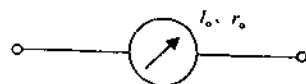


图 1-2 磁电式仪表测量机构的电路符号

三、电磁式仪表

1. 电磁式仪表的结构与工作原理

电磁式仪表常采用排斥型结构。图 1-3 为排斥型电磁式仪表的测量机构和工作原理示意

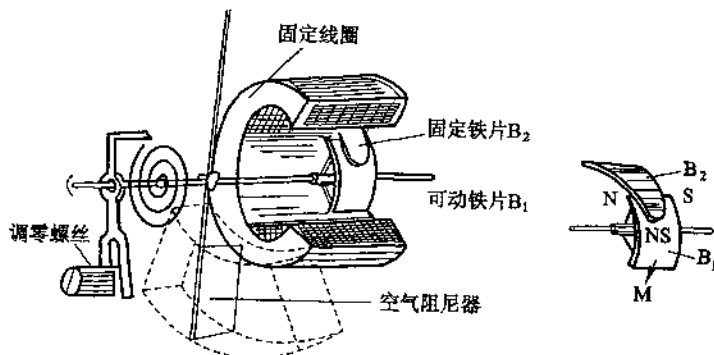


图 1-3 排斥型电磁式仪表测量机构和工作原理示意图

图。当电流通入固定线圈后,载流线圈周围产生磁场。线圈内的铁片 B_1 和 B_2 均被磁化,并成相同的极性。固定铁片 B_2 和可动铁片 B_1 间产生排斥力,可动铁片 B_1 转动,同时带动转轴与指针一起偏转。当转动力矩与游丝产生的反作用力矩平衡时,指针指示被测量数值。当通过固定线圈的电流方向改变时,载流线圈产生的磁场也随之改变,线圈内的铁片 B_1 和 B_2 仍同时被磁化,仍相互排斥,转动力矩的方向不变。也就是说,仪表可动部分的偏转方向不随电流方向的改变而改变。可见,这种仪表适用于交流电路的测量。转动力矩与通入电流的平方成正比($M=k_1 I^2$),平衡时指针的偏转角与通入载流线圈的电流平方成正比($\alpha=k I^2$),所以标度尺刻度是不均匀的。

2. 电磁式仪表的特性

电磁式仪表的特性主要包括以下几个方面:

- (1) 能够测量直流电和交流电。
- (2) 标度尺刻度是非线性的。
- (3) 受外磁场影响大。
- (4) 准确度低于磁电式仪表和电动式仪表。
- (5) 结构最简单,过载能力强,制造成本低。
- (6) 灵敏度较低,功率损耗较大。
- (7) 可用来测量正弦及非正弦交流电量的有效值。

3. 电磁式仪表的应用

(1) 作电流表用。电磁式仪表不使用分流器或互感器就可做成 0.01~50 A 满刻度偏转的电流表。电磁式电流表需扩大量程时,不能采用分流电阻的方法。因为频率和电流变化时,分流电阻和表内阻抗不能按比例变化,会引起较大误差,所以电磁式仪表主要是用电流互感器扩大电流量程。

(2) 作电压表用。电磁式电压表是内阻相当低的电压表,一般为 50 至几百欧姆/伏。通常采用电压互感器扩大电压量程。

(3) 作功率因数表用。

四、电动式仪表

1. 电动式仪表的结构与工作原理

图 1-4 为电动式仪表的测量机构和工作原理示意图。当固定线圈通以电流 i_1 时周围产生磁场,可动线圈通过电流 i_2 时,可动线圈在磁场中受到作用力 F ,并在它的驱动下使可动线圈偏转,直到偏转力矩和游丝产生的反作用力矩平衡为止。

当电流 I_2 通过可动线圈后,它与磁场相互作用产生偏转力矩(一个周期内偏转力矩的平均值) M_1 ,其值为 $M_1=k_1 I_1 I_2 \cos \varphi$ (φ 为电流 i_1 、 i_2 之间的相位差, I_1 、 I_2 为瞬时电流 i_1 、 i_2 的有效值)。由游丝产生的反作用力矩为 $M_2=k_2 \alpha$ 。平衡时, $M_1=M_2$,指针的偏转角为 $\alpha=\frac{k_1}{k_2} I_1 I_2 \cos \varphi$ 。

可见,电动式仪表指针的偏转角不仅与通过可动线圈和固定线圈的电流成正比,还与两个电流之间的相位差余弦成正比。利用此特点可制成功率表。

2. 电动式仪表的特性

电动式仪表的特性主要包括以下几个方面:

- (1) 可作交、直流两用表。
- (2) 交流电表中准确度最高。因为磁路中没有铁磁物质,基本上不存在磁滞和涡流效应,

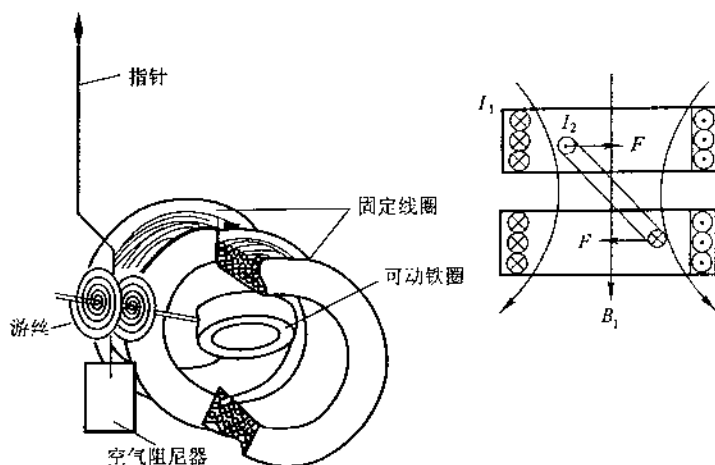


图 1-4 电动式仪表测量机构和工作原理示意图

因而准确度高。

(3) 标度尺刻度不均匀。

(4) 灵敏度低, 功率损耗大。

(5) 受外磁场影响大。因为电动式仪表本身的磁场很弱, 外磁场容易影响仪表的正常工作, 一般采用屏蔽保护。

3. 电动式仪表的应用

(1) 作电流表用。电动式仪表作电流表用时, 扩大量程不能采用分流器的方法, 而多用线圈串、并联和电流互感器的方法。

电动式毫安表就是采用而定线圈和可动线圈串联的方法, 如图 1-5 所示。由于受到动圈和游丝的限制, 最高只能测到 500 mA 左右。如果采用固定线圈和可动线圈并联的方法, 通过增大动圈支路电阻的办法限制其电流, 则电流表量程就比串联时大得多, 如图 1-6 所示。

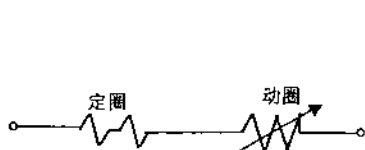


图 1-5 电动式毫安表

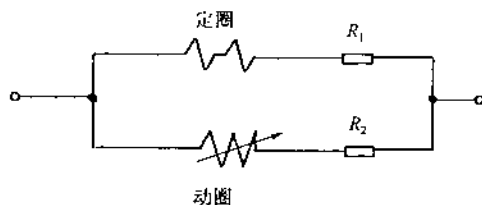


图 1-6 电动式电流表

(2) 作电压表用。电动式电压表的内阻比磁电式电压表的内阻要小。扩大量程同磁电式电压表一样, 配以适当附加电阻即构成电动式交、直流电压表, 如图 1-7 所示。

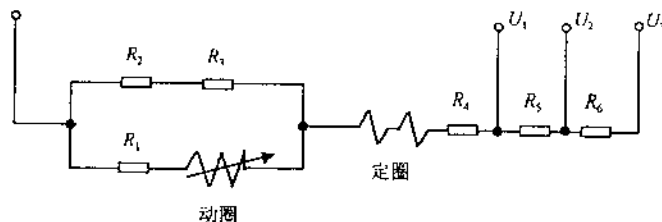


图 1-7 多量程电动式电压表

(3) 作功率表用。由电动式仪表构成的单相交流功率表,使用时应在动圈(电压线圈)所在电路中串入较高阻值的电阻 R_v ,以使动圈中的电流与电源电压基本同相,使动圈中电流与被测电路端电压成正比,使固定线圈(电流线圈)通过负载电流。电动式单相功率表的接线如图 1-8 所示。单相功率表接线时须注意要将电流线圈和电压线圈的同极性端连接在一起。

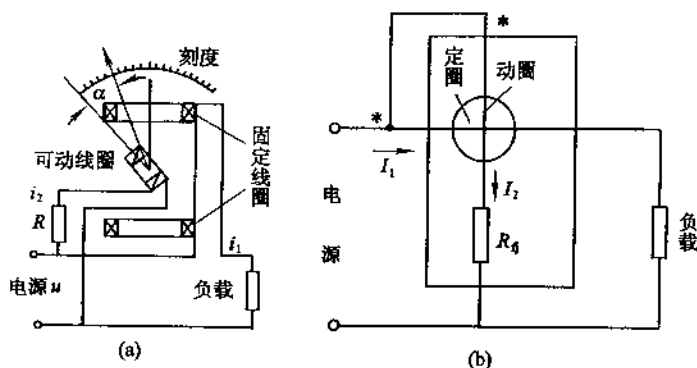


图 1-8 电动式单相功率表接线图
(a) 内部原理图; (b) 外部接线图

§ 1.3 万用表与兆欧计

一、普通万用表

万用表是一种多功能的仪表,可以用来测量直流电流,交、直流电压,电阻和音频电平。万用表一般采用磁电式表头,其种类和型号很多,电路和测量范围各不相同,但其基本结构相似。

1. 万用表的工作原理

图 1-9 为万用表简单原理电路图。图中 Q_1 是一个具有 12 个分接头的转换开关,当滑动触头与不同分接头连接时,就接通了不同的电路,以便用来选择测量种类和量程。 Q_2 是一个单刀双掷开关,测量电阻时, Q_2 与点 1 接通,进行其他测量时, Q_2 与点 2 接通。下面分述万用表各种测量的基本原理。

(1) 直流电流的测量。测量直流电流时,转换开关 Q_1 拨在 4、5、6 的位置,电路如图 1-10 所示。

被测电流从“+”端入,“-”端出, R_1 、 R_2 、 R_3 和 R_4 组成闭路式分流器,拨动 Q_1 就可改变直流电流的量程,这同一般电流表并联分流电阻扩大量程的原理是一样的。

(2) 直流电压的测量。测量直流电压时,转换开关 Q_1 拨在 10、11、12 的位置,电路如图 1-11 所示。图中 $R_1+R_2+R_3+R_4$ 构成环形分流器,总电阻为 R ,被测直流电压加在“+”和“-”两端,分压电阻由 R_5 、 R_6 、 R_7 组成,拨动 Q_1 就可得到不同的直流电压量程,这和电压表串联分压电阻扩大量程的原理是一样的。

(3) 交流电压的测量。测量交流电压时,转换开关 Q_1 拨在 1、2、3 的位置,电路如图 1-12 所示。由于磁电式微安仪表只能测量直流,因此,要测量交流须在表内附加一个整流器,把交流电变换成直流电,再由磁电式微安表头加以测量,这就构成了整流式仪表。

整流式仪表的整流电路由具有单向导电作用的半导体二极管组成。显然,流过表头的电流