

全国技工学校电工类通用教材

电工仪表与测量

(第二版)

中国劳动出版社

全国技工学校电工类通用教材

电工仪表与测量

(第二版)

劳动部培训司组织编写

中国劳动出版社

(京)新登字 114 号

本书是根据劳动部培训司 1993 年审定颁发的《电工仪表与测量教学大纲(1993)》编写,供技工学校招收初中毕业生使用的统编教材。

本书内容包括:电工常用仪表的测量机构、电工仪表分类与测量方法及误差、电流与电压的测量、电功率的测量、电能的测量、功率因数测量及相序检测、频率和转速的测量、电阻电容的测量、万用表以及电子示波器。

本书也可作为职业高中和企业维修电工、电工中级技术工人培训的教材,以及职工的自学用书。

本书由龙竞云、王方德、刘书卫编写;龙竞云主编;陈健南、庄稼审稿,陈健南主审。

电工仪表与测量

(第二版)

劳动部培训司组织编写

责任编辑:蒋运茂

中国劳动出版社出版

(北京市惠新东街 1 号)

北京印刷三厂印刷

新华书店总店北京发行所发行

787×1092 毫米 16 开本 9 印张 212 千字

1988 年 3 月北京第 1 版 1994 年 2 月北京第 2 版

1995 年 3 月北京第 10 次印刷 印数: 112000 册

ISBN7-5045-1398-9/TM·081(课) 定价: 6.30 元

前 言

为了更好地提高技工学校电工类工种(专业)的教学质量,适应生产发展的需要,我们在修订技工学校电工类工种(专业)教学计划教学大纲的基础上,组织修订了技工学校电工类工种(专业)各门课程的教材。修订后的教材从培养目标出发,以中级电工技术等级标准为依据,坚持理论联系实际的原则,突出技能训练,注重针对性、实用性、科学性,并适当增加了新技术、新工艺、新材料、新设备的内容。

此套教材计有:维修电工生产实习、电工生产实习、数学、物理、电工基础、机械知识、机械制图、电气制图、电子技术基础、电机与变压器、电工仪表与测量、电力拖动控制线路、企业供电系统及运行、安全用电、电工材料等 15 种。

组织修订教材的工作得到了黑龙江、山东、上海、江苏、浙江、河南、陕西、四川、江西、湖南、广西、福建、云南及沈阳、大连、重庆等省市自治区及计划单列市劳动厅(局)的大力支持和协助,在此表示衷心地感谢。

由于技工学校教学改革正在研究探索之中,此次修订的教材肯定还会存在一些缺点和不足,恳切希望读者提出宝贵意见,以便在适当时候再次进行修订,使之更加完善。

劳动部培训司

目 录

绪论	1
第一章 电工常用仪表的测量机构	3
§ 1—1 测量机构的作用和原理	3
§ 1—2 磁电系测量机构	7
§ 1—3 电磁系测量机构	10
§ 1—4 电动系测量机构	13
§ 1—5 铁磁电动系测量机构	15
§ 1—6 数字式电压基本表	16
习题一	20
第二章 电工仪表分类与测量方法及误差	21
§ 2—1 常用电工仪表的分类、型号和标志	21
§ 2—2 电工仪表的主要技术要求	24
§ 2—3 常用电工测量方法及测量误差与消除	28
§ 2—4 常用电工仪表的选择	30
习题二	31
第三章 电流与电压的测量	32
§ 3—1 直流电流的测量	32
§ 3—2 直流电压的测量	36
§ 3—3 电磁系电流表和电压表	39
§ 3—4 整流系和数字式交流电流表及电压表	40
§ 3—5 仪用互感器	43
§ 3—6 钳形电流表	46
§ 3—7 电流表和电压表的校验	48
习题三	50
第四章 电功率的测量	51
§ 4—1 电动系功率表	51
§ 4—2 低功率因数功率表	55
§ 4—3 三相有功功率的测量方法	56
§ 4—4 三相有功功率表	58
§ 4—5 三相无功功率的测量方法	60
习题四	62
第五章 电能的测量	64

§ 5—1 感应系电度表	64
§ 5—2 三相有功电度表	67
§ 5—3 三相无功电度表	68
§ 5—4 电度表的使用	70
§ 5—5 电度表的调整	72
§ 5—6 电度表的校验	74
习题五	76
第六章 功率因数测量及相序检测	77
§ 6—1 功率因数测量	77
§ 6—2 相序检测	78
习题六	79
第七章 频率和转速的测量	80
§ 7—1 频率测量仪表	80
§ 7—2 转速的测量	82
习题七	86
第八章 电阻和电容的测量	87
§ 8—1 直流单臂电桥	87
§ 8—2 直流双臂电桥	89
§ 8—3 数字毫欧表	91
§ 8—4 兆欧表	94
§ 8—5 接地电阻测试仪	97
§ 8—6 电容器容量的测量	99
习题八	103
第九章 万用表	104
§ 9—1 万用表的结构和工作原理	104
§ 9—2 模拟式万用表	109
§ 9—3 DT—830 型数字万用表	114
习题九	121
第十章 电子示波器	122
§ 10—1 通用示波器的结构原理简介	122
§ 10—2 示波器的使用	125
习题十	127
实验	127
实验一 电流表和电压表的校验	128
实验二 三相电路有功功率的测量	130
实验三 电度表的校验及调整	131
实验四 功率因数及相序测量	133
实验五 低电阻和电容的测量	134
实验六 示波器的使用	135

绪 论

一、电工仪表与测量研究的对象

电工测量的主要对象是电阻、电流、电压、电功率、电能、功率因数等电量、磁量及各种电参量。无论在电能的生产,还是在电能的传输、变配和使用过程中,都必须通过各种电工仪表对电能的质量、负荷的运行情况加以监视,才能达到供电的可靠、安全和经济运行的效果。显然,电力系统的正常运行离不开电工测量。在日常的电气试验及电器维修工作中,也同样离不开对各种电量及电参量的测量。可见,电工测量具有很重要的意义。

人们用米尺度量物体的长度,用天平称物体的重量,用计时器测量时间等等,这都是大家熟知的常用物理量的测量。而电工领域中的电工测量也同其它测量一样是用被测的未知量与同类标准量进行比较的过程。例如,用电流表测量电流,电压表测量电压,这些被测量的数值都可以直接从仪表指针或数码显示器上读出,这是一种常用的直接测量方式。除此之外,在直接测量有困难的情况下,也可采用间接测量的方式来获取被测量。

随着科学技术的发展,电工测量的方法在不断进步,电工仪器仪表也在不断向着高、新、尖方向发展。

电工仪表与测量研究的对象是常用电工仪表的结构、原理及使用,电工测量方法的选择,测量数据的处理等内容。通过本课程的学习,从中获得合理运用电工测量方法,正确选择和使用常用电工仪表的基本技能。

二、电工仪表的发展概况

在电工技术领域,电流、电压这两个基本电量是利用电磁力使指针偏转来进行测量的。这种传统的机械式指示仪表是由测量机构和测量线路两个基本部分组成。同一测量机构配置不同的测量线路则可用于测量各种不同的电量。由此可见,测量机构则是指示仪表的核心。人们把测量机构又俗称为表头。

指示仪表历史悠久,结构简单,价格便宜,迄今仍被人们广泛用于电工测量领域中。但是,指示仪表要产生一个足够大的电磁力使指针偏转,通过仪表的电流则不能太小。因而,仪表的灵敏度不可能很高。对于与待测电路并联使用的仪表,输入阻抗越高,仪表对待测电路的影响就会越小。而机械式的电压表一般内阻约为 1000 欧/伏,也不算太大。指示仪表的精确度除电位差计、精密电桥外,一般在 1% 左右。此外,指示仪表的测量速度、允许的频带宽度也不是太快和太宽。显然,在各项技术指标要求较高的电工测量中,一般的电工指示仪表已不能满足时代发展的需要。

随着电子技术的发展,近年来各种数字式电测仪表已相继问世。特别是 80 年代末,单片 CMOS A/D 转换器的出现,新型袖珍数字式仪表正广泛用于日常电工测量中。

数字式电工仪表之所以迅速发展起来,在于它具有灵敏度高(一台 $8\frac{1}{2}$ 位的数字电压表其灵敏度可达 1 毫微伏),输入阻抗大,频率范围宽,测量速度快,显示清晰直观,操作方便,抗干

抗能力强等优点。向着智能化方向发展的仪表还能完成自动转换量程,自动更换测量项目,自动校正,查寻仪表故障,排除故障等操作。此外,数字仪表的结构还具有积木化的特点。在一块数字基本表(A/D转换器)的基础上,利用交、直流(AC/DC)转换器,电流、电压(I/V)转换器,电阻、电压(Ω/V)转换器,频率、电压(f/V)转换器等,便能扩展成具有不同功能的电工测量仪表。为适应时代的发展,掌握数字式电工仪表的有关知识十分必要。

三、学习本课程的要求及方法

在本课程的学习过程中,应紧紧抓住指示仪表的核心——仪表测量机构,数字式仪表的核心——数字基本表,以及各种仪表测量及转换线路的特点。用对比、积木化的思维方式循序渐进地学习了解常用电工指示仪表、数字式仪表的结构、原理及性能。例如,常用的模拟式万用表,它是由一块磁电系表头配以直流电流测量线路,直流电压测量线路,交流电压测量线路,电阻等测量线路来实现多种电量、多种量程的测量仪表。若能在掌握磁电系表头的结构、原理的基础上,采用对比的方法进一步掌握各不同电量的测量线路,那么要掌握模拟式万用表的结构、原理及性能则会更加容易。

此外,掌握常用电工测量的方法,重视仪表的使用、维护、保养和仪表校调的一般知识也十分重要。为了巩固和加深对所学知识的理解,还应重视教材内安排的实验课以及电工仪表与测量在相关专业课和生产实习教学中的应用。加强理论联系实际,争取做一个既有理论知识,又有一定操作技能的合格人材。

第一章 电工常用仪表的测量机构



目前,用于电工测量的仪表大部分仍是“电磁机械式仪表”,一般又称为指示仪表。当被测量接入这种仪表后,仪表的指针在电磁力作用下发生偏转,并用偏转角的大小反映被测量的数值。例如中学物理实验中使用的安培表、伏特表就是这类仪表。现代由于电子计算机的发展和数字电子技术的进步,出现了数字式仪表,它能自动地将被测量的数值直接以数字形式显示出来(也包括记录或控制)。无论是指示仪表还是数字仪表,都是由测量机构和测量线路两个基本部分组成,其中测量机构是仪表的核心。同一种测量机构配合不同的测量线路,可以组成测量多种电量的仪表。对于数字仪表来说,它的基本表就相当于指示仪表的测量机构。本章首先讨论测量机构的共同问题,而后分别介绍磁电系、电磁系、电动系和铁磁电动系等几种常用的指示仪表的测量机构,最后介绍数字仪表的测量机构(即数字仪表的基本表)。其他系列仪表的测量机构将在以后章节中结合具体仪表讲述。

§ 1-1 测量机构的作用和原理

一、电工指示仪表的组成

1. 测量机构

电工指示仪表的任务,是要把被测电量转换为仪表可动部分的偏转角,在转换过程中使二者之间保持确定的关系,从而用偏转角的大小来反映被测量的数值。因此,各种电工指示仪表都有一个接受电量后产生偏转运动的机构,这种机构称为测量机构。测量机构是仪表的核心,没有它就不可能达到测量的目的。

各种型式的测量机构都由两大部分组成,即固定部分和可动部分。

2. 测量线路

仅有测量机构还不能构成各种规格的仪表,这是因为被测电量常常不能直接加到测量机构上。例如,测量几拾毫安以下的直流电流或几拾毫伏以下的直流电压,可以直接通过磁电系测量机构来实现。但是,如果被测量是大电流或高电压,就不能把它们直接通入测量机构来测量,而必须把被测量变换成仪表能接受的过渡量。一般地说,能把被测量 x (如电流、电压、电阻等)转换为仪表的测量机构可以直接接受的过渡量 y (如电流),并保持一定变换比例的仪表组成部分,叫做测量线路。测量线路通常由电阻、电感、电容或电子元件组成。不同仪表的测量线路一般是不同的,如在电流表中是分流器,在电压表中是附加电阻等,将在以后结合具体仪表加以介绍。

3. 指示仪表结构方框图

由以上讨论可知,指示仪表要把被测量转换为可动部分的偏转角,一般要经过两步变换。第一步先把被测量 x 转换成仪表测量机构可以直接接受的过渡量 y ,这一步变换由测量线路

完成。第二步再将过渡量 y 变为仪表可动部分的偏转角 α , 这一步变换由测量机构完成。因此指示仪表应包括测量机构和测量线路两个基本部分, 其方框图如图 1-1 所示。

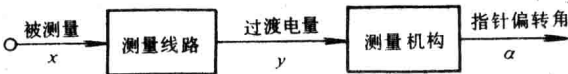


图 1-1 指示仪表结构方框图

二、指示仪表测量机构的结构及原理

各类仪表的测量机构, 尽管在动作原理上各不相同, 可是它们在仪表中的功能却是相同的, 即在被测量(或过渡量)作用下产生转矩, 推动可动部分偏转, 指示被测量的大小。为了完成以上功能, 测量机构必须包括以下五部分。

1. 转矩装置

为了使可动部分的偏转角反映被测电量的大小, 测量机构必须具有产生转动力矩的装置。不同类型的仪表, 产生转动力矩的原理和方式也不同。例如, 磁电系仪表是利用永久磁铁与通电线圈之间的电磁力产生转矩, 电动系仪表利用两个通电线圈之间的电磁力产生转矩等。转动力矩 M 的大小与被测量 x (或过渡量 y) 及偏转角 α 之间成某种函数关系, 即

$$M = f(x, \alpha)$$

2. 反作用力矩装置

仪表可动部分在转矩 M 作用下, 将带动指示器偏转。但是, 如果在仪表可动部分上只有转矩而无反作用力矩作用, 则不论被测量多大, 只要转矩 M 能克服可动部分的摩擦力矩, 都将使指示器一直偏转到尽头。这好比用没有秤砣的秤去称重物, 不管重物多重, 秤杆都会高高翘起。所以, 没有反作用力矩的仪表只能反映被测量的有无, 而不能测量其大小。因此在可动部分的转轴上必须装设反作用力矩装置。

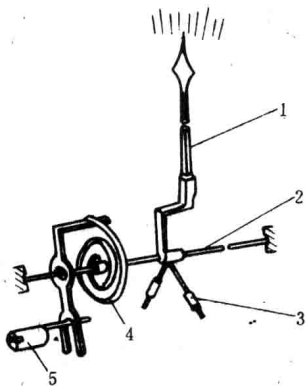


图 1-2 用游丝产生反作用力矩的装置

1—指针 2—轴 3—平衡锤
4—游丝 5—调零器

反作用力矩装置一般采用游丝或张丝构成。图 1-2 为用游丝产生反作用力矩的装置, 当可动部分偏转时游丝被扭紧, 利用游丝的弹力(或张丝的扭力)产生反作用力矩。反作用力矩的方向总是和转动力矩的方向相反, 而其大小在游丝的弹性变形范围内与可动部分偏转角 α 成正比。

当被测量一定时, 测量机构的转动力矩 M 也是定值, 可动部分在这个力矩的作用下开始偏转。随着偏转角 α 的增大, 反作用力矩 M_r 也不断增大, 直到反作用力矩 M_r 与转动力矩平衡, 即

$$M = M_r \quad (1-1)$$

此时可动部分不再偏转, 而稳定在一定的偏转角 α 上。

当被测量增大时, 测量机构的转动力矩 M 也随之增大, 式(1-1)所示力矩平衡关系被破坏, 可动部分又开始转动而使偏转角 α 继续增大, 于是反作用力矩 M_r 也随之增大, 直到力矩达到新的平衡状态为止。这时可动部分稳定于一个较大的

偏转角,正好与被测量较大的数值相对应。这样就达到了用偏转角 α 来表示被测量大小的目的。

以上所述利用游丝、张丝产生的反作用力矩,属于机械反作用力矩,在仪表中应用较多。此外,有的仪表也用电磁力来产生反作用力矩,如兆欧表等。

3. 阻尼装置

仪表通电后,其可动部分就要偏转,由于有惯性,当偏转到 $M=M_0$ 的平衡位置时不能马上停下来,而要继续偏转。这时由于反作用力矩大于转动力矩,可动部分的偏转速度将逐渐减慢。当最后减至零时,可动部分已经超过了平衡位置,因而反作用力矩大于转动力矩,可动部分又将往回偏转,形成可动部分在平衡位置左右来回摆动,这样要经过一段时间才能稳定在平衡位置上。为了减少可动部分摆动的时间以利尽快读数,仪表中必须有阻尼装置,用来消耗可动部分的动能,即限制可动部分的摆动。常用的仪表阻尼装置,有空气阻尼器和磁感应阻尼器两种,如图1-3所示。

图1-3a所示的空气阻尼器有一密闭小盒1,盒中的阻尼片2固定在仪表转轴上。当可动部分偏转时带动阻尼片运动,由于

于盒中阻尼片两侧空气的压力差而形成了阻尼力矩。

图1-3b所示为磁感应阻尼器。当可动部分偏转时,带动阻尼金属片3在永久磁铁4的磁场内运动,因切割磁力线将产生涡流,其方向见图1-4。若阻尼金属片向左运动,则产生的涡流方向如图中虚线所示,永久磁铁的磁场(B)和涡流相互作用的结果,产生一个向右方向的阻尼力矩。

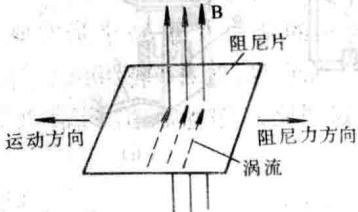


图1-4 磁感应阻尼器工作原理

需要指出,阻尼力矩只在可动部分运动时才产生,它仅仅与可动部分的运动速度有关而与偏转角无关。换句话说,可动部分的稳定偏转角只由转动力矩和反作用力矩的平衡关系所确定,而与阻尼力矩无关。

4. 读数装置

读数装置由指示器和标尺(又称刻度盘)组成。

指示器分指针式和光标式两种。指针又分矛形和刀形,

如图1-5所示。矛形指针多用在大型、中型安装式仪表中,便于在一定距离之外读取指示值。刀形指针则用于便携式仪表和小型安装式仪表中,以利取得精确的读数。指针是用铝制成的,重量极轻。

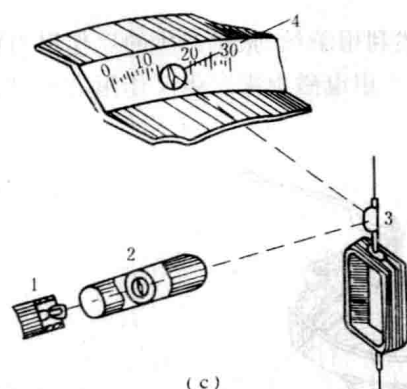
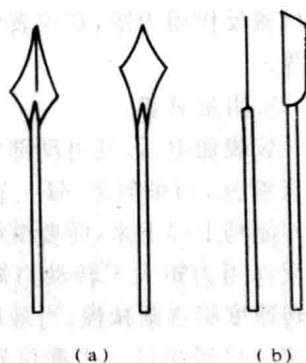


图 1-5 仪表的指示器

(a) 矛形指针 (b) 刀形指针 (c) 光标指示器

1—灯泡 2—光具组 3—反射镜 4—光标指示

光标式指示器的示意图如图 1-5c 所示。它是由灯泡 1 发出的光线经过聚光装置 2 照射到固定在可动部分转轴上的反射镜 3 上,再通过反射镜反射到标尺上的光标来读取指示值。光标式指示器可以完全消除视差,但结构复杂,成本高,只在一些高灵敏度、高准确度的仪表中使用。

标尺,就是一块画有刻度的表盘,如图 1-6 所示。为了减小读数时的视差,0.5 级以上的精密仪表通常在标尺下面安装一个反射镜,又称为镜子标尺。当看到指针和指针在镜中的影像重合时才进行读数。

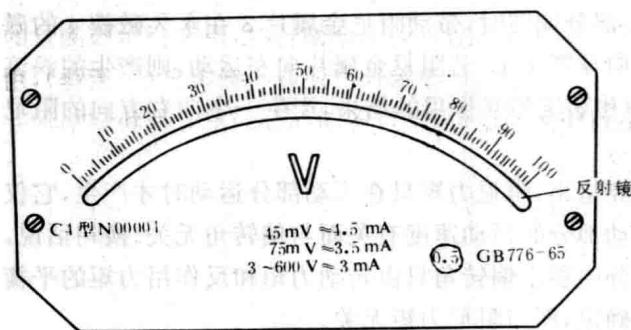


图 1-6 仪表的标度尺

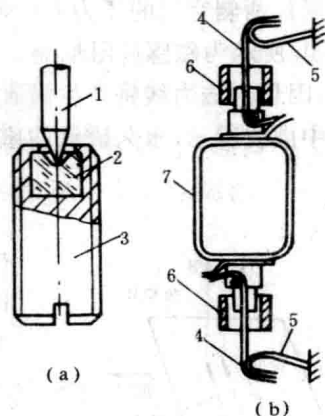


图 1-7 测量机构的支承装置

(a) 轴尖轴承支承 (b) 张丝弹片支承

1—轴尖 2—轴承 3—轴承螺套 4—张丝

5—弹片 6—限制器 7—动圈

5. 支承装置

测量机构的可动部分要随被测量的大小而偏转,因此必须有支承装置。常用的支承装置有两种方式。一种是轴尖轴承支承方式,如图 1-7a 所示。仪表可动部分装在转轴上,转轴两端是

圆锥形的轴尖,轴尖支承在轴承内。另一种是张丝弹片支承方式,见图 1-7b。在这种支承中用张丝弹片代替轴尖轴承,消除了摩擦误差,从而提高了仪表的准确度。弹片对张丝起减震和保护作用,能提高仪表耐受颠簸的性能。因此目前生产的便携式仪表大都采用这种支承方式。

§ 1—2 磁电系测量机构

一、结构

磁电系测量机构由固定的磁路系统和可动部分组成,其结构如图 1-8 所示。

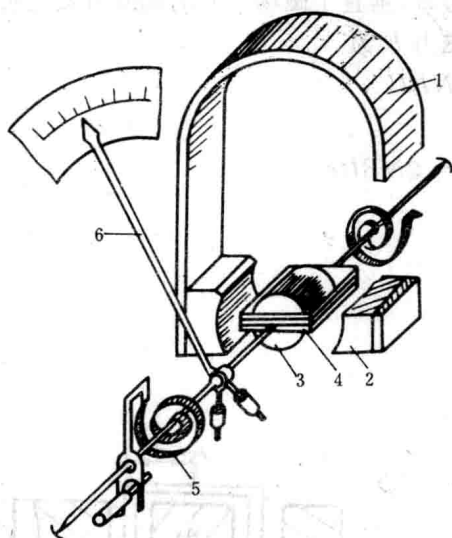


图 1-8 磁电系测量机构
1—永久磁铁 2—极掌 3—圆柱形铁芯
4—可动线圈 5—游丝 6—指针

仪表的固定部分是磁路系统,用它来得到一个较强的磁场。在永久磁铁 1 的两极,固定着极掌 2,两极掌之间是圆柱形铁芯 3。圆柱形铁芯固定在仪表的支架上,用来减小两极掌间的磁阻,并在极掌和铁芯之间的空气隙中形成均匀辐射的磁场,即沿圆柱形铁芯的表面,磁感应强度处处相等,且方向和圆柱表面垂直。圆柱形铁芯与极掌间留有一定的空隙,以便可动线圈在气隙中运动。

仪表的可动部分是用薄铝皮作成的一个矩形框架,上面用很细的漆包线绕有很多匝线圈。转轴分成前后两个半轴,每个半轴的一端固定在动圈铝框上,另一端通过轴尖支承于轴承中。在前半轴上还装有指针,当可动部分偏转时,用来指示被测量的大小。在指针上还有平衡装置(平衡锤),用来调整仪表转动部分的平衡,使仪表指针指到任何刻度位置时,转动部分的重心都和转轴轴心重合,防止产生附加误差,保证仪表的准确度。

来调整仪表转动部分的平衡,使仪表指针指到任何刻度位置时,转动部分的重心都和转轴轴心重合,防止产生附加误差,保证仪表的准确度。

两半轴上分别装有游丝 5,用来产生反作用力矩,同时也用游丝把被测电流导入和导出可动线圈。

磁电系测量机构不设专门的阻尼装置,而是利用铝框架的电磁感应作用来实现阻尼作用的。当铝框在磁场中运动时,因切割磁力线而产生感生电流 i_e ,磁场与 i_e 相互作用的结果,产生了与铝框运动方向相反的电磁阻尼力矩(见图 1-9)。在高灵敏度仪表中,为减轻可动部分的重量,通常采用无框架动圈,并在动圈中加短路线圈,利用短路线圈中产生的感生电流与磁场相互作用产生阻尼力矩。

磁电系测量机构按磁路形式的不同又分为外磁

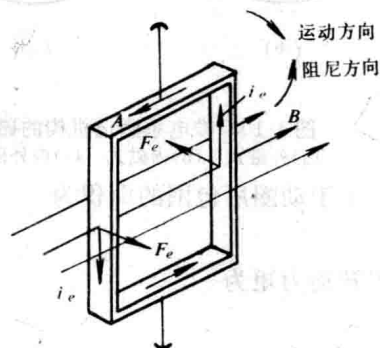


图 1-9 铝框产生阻尼力矩的原理

式、内磁式和内外磁式三种,如图 1-10 所示。外磁式结构是永久磁铁在可动线圈外部,内磁式结构是永久磁铁在可动线圈内部。内外磁式结构是在可动线圈的内外都有永久磁铁,磁场更强,可使仪表结构尺寸更为紧凑。

二、工作原理

磁电系测量机构是利用线圈在磁场中受到电磁力作用的原理制成的。见图 1-11,当可动线圈中流过电流时,由于永久磁铁的磁场和线圈电流相互作用,产生了电磁力 F ,按照图 1-11 中所设的电流方向和磁场方向,运用左手定则,可判断线圈两有效边所受电磁力的方向与线圈平面垂直且方向相反。由转轴支承的可动线圈在力偶矩的作用下,便发生顺时针方向的旋转。若均匀辐射磁场的磁感应强度为 B ,线圈匝数为 N ,垂直于磁场方向的动圈有效边长为 l ,则当线圈通过的电流为 I 时,每个有效边受到的电磁力 F 为

$$F = NBIL$$

转动力矩为

$$M = 2Fr = 2NBILr$$

式中 r ——转轴中心到线圈有效边的距离。

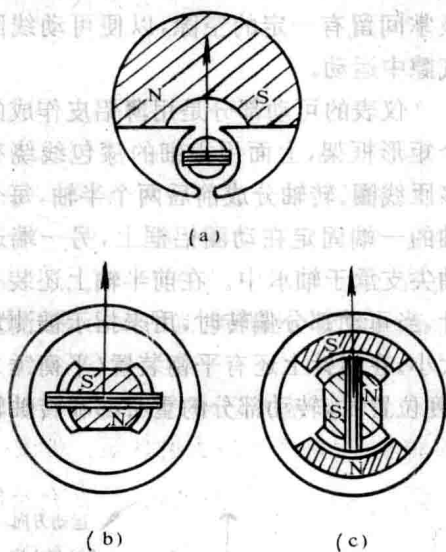


图 1-10 磁电系测量机构的磁路

(a)外磁式 (b)内磁式 (c)内外磁式

由于动圈所包围的面积为

$$S = 2rl$$

则得转动力矩为

$$M = NBSI$$

(1-2)

在均匀辐射磁场内,磁感应强度 B 是定值,已经绕制好的线圈的匝数 N 和有效面积 S 也是定值,因此从公式(1-2)中可以看出,转动力矩 M 的大小与线圈中通过的被测电流成正比,而转动力矩的方向取决于流进线圈的电流方向。

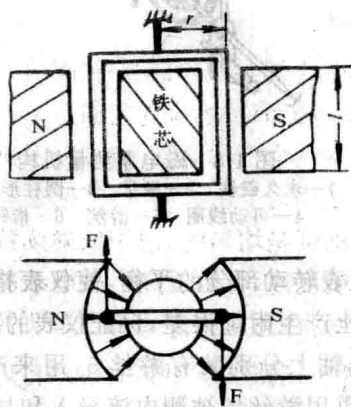


图 1-11 产生转动力矩的原理

动圈转动时将引起游丝的变形,进而产生反作用力矩 M_a ,这个力矩的大小与游丝变形的大小成正比,也就是和线圈的偏转角 α 成正比,即

$$M_a = D\alpha$$

式中 α ——可动部分偏转角,即指针偏转角;

D ——游丝的反作用系数,与游丝的材质和尺寸有关。

随着偏转角 α 的增大,反作用力矩也增大,直到和转动力矩相等时,可动部分因所受力矩达到平衡而稳定在一个平衡位置上,指针就有一个稳定的偏转角 α 。根据力矩平衡关系

$$M_a = M$$

得

$$D\alpha = NBSI$$

故

$$\alpha = \frac{NBS}{D}I \quad (1-3)$$

对于已经制成的仪表, N 、 B 、 S 和 D 都是常数,所以 $\frac{NBS}{D}$ 也是一个常数,令

$$S_I = \frac{NBS}{D}$$

则

$$\alpha = S_I \cdot I \quad (1-4)$$

上式说明,可动部分的稳定偏转角 α 与通过动圈的电流 I 成正比。因此可以用偏转角来衡量被测电流的大小,并由指针在标度尺上直接示出电流的数值。

由式(1-4)可得

$$S_I = \frac{\alpha}{I}$$

S_I 称为磁电系测量机构的灵敏度,表示单位被测量(这里是电流)所对应的偏转角。

三、磁电系测量机构的特点

磁电系测量机构的结构和原理,决定了它具有以下特点:

1. 刻度均匀 由式(1-4)可见磁电系测量机构指针的偏转角与被测电流的大小成正比,因此仪表的刻度是均匀的,便于准确读数。
2. 准确度高,灵敏度高 磁电系测量机构的磁场由永久磁铁提供,工作气隙也比较小。因此,气隙中的磁感应强度 B 很大,即使动圈通入的电流较小,也能产生较大的转矩。仪表中由于摩擦、外磁场影响所引起的误差相对较小,因而准确度高。由 $S_I = \frac{NBS}{D}$ 可知,当 B 大时仪表灵敏度 S_I 高,电流量限小可达 1 微安。
3. 功率消耗小 由于测量机构内部通过的电流很小,所以仪表消耗的功率也很小。
4. 过载能力小 因为被测电流是通过游丝导入和导出的,又加上动圈的导线很细,所以过载时很容易引起游丝的弹性发生变化和烧毁线圈。
5. 只能测量直流 因为永久磁铁产生的磁场方向恒定不变,所以只有通入直流电流才能产生稳定的偏转。如果线圈中通入的是交流电,则由于电流方向不断改变,转动力矩也是交变的,可动部分由于惯性作用,还来不及转过去,马上又得转回来,结果指针只能在零位左右摆动,得不到正确读数。

磁电系测量机构主要用于直流电路中测量电流和电压,加上变换器后还可用于交流电量及其他量的测量,所以这种测量机构应用十分广泛。

使用磁电系测量机构组成的直流仪表应注意极性。通常在仪表的端子上都标注有“+”和

“—”符号,当接入被测电路时,须按端子上的极性进行接线,一旦接反将使指针反向偏转,造成指针撞弯甚至损坏。

§ 1—3 电磁系测量机构

电磁系测量机构具有结构简单、坚固、成本低、便于制造以及可以交直流两用等优点,在电工测量中获得了广泛应用,尤其是传统的开关板式交流电流表和交流电压表,几乎都采用电磁系测量机构。

一、结构

根据结构形式的不同,电磁系测量机构分为吸引型和排斥型两种。

1. 吸引型

吸引型电磁系测量机构的结构如图 1-12 所示。它由固定线圈 1 和可动铁片 2(偏心地装在转轴上)组成产生转动力矩的部分。转轴上还装有指针 3、阻尼片 4 和游丝 5 等。游丝的作用与电磁系测量机构中不同,它只产生反作用力矩而不通过电流。阻尼片 4 和永久磁铁 6 构成了磁感应阻尼器。为防止线圈 1 受到永久磁铁 6 的磁场影响,在永久磁铁前加装了一块钢质磁屏 7。

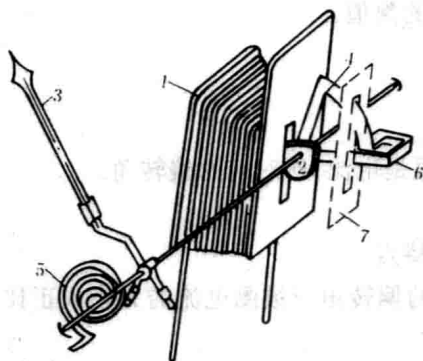


图 1-12 扁线圈吸引型测量机构
1—固定线圈 2—可动铁片 3—指针 4—阻尼片
5—游丝 6—永久磁铁 7—磁屏

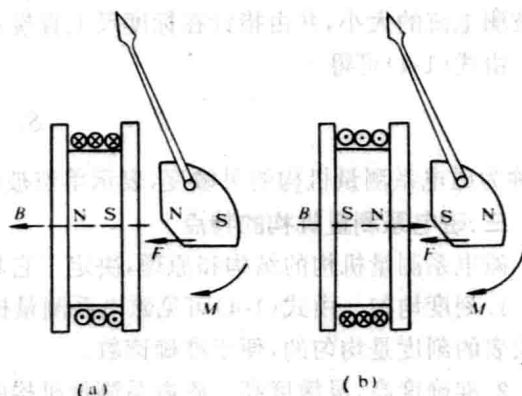


图 1-13 吸引型测量机构工作原理

当线圈 1 通电后,线圈产生的磁场将可动铁片磁化,对铁片产生吸引力,如图 1-13a 所示。随着铁片被吸引,固定在同一转轴上的指针也随之偏转,同时游丝产生反作用力矩,因此这种结构称为吸引型测量机构。如果流过线圈的电流方向改变,则线圈所产生磁场的极性以及动铁片被磁化的极性都随之改变,它们之间的作用力仍然是相互吸引,见图 1-13b,转动部分的转动力矩保持原来方向,保证了指针的偏转方向不会改变,显然这种测量机构可以用来构成交直流两用仪表。

2. 排斥型

排斥型测量机构的结构如图 1-14 所示,它也是由固定部分和可动部分组成的。固定部分包括固定线圈 1 和固定在线圈内侧的固定铁片 2,可动部分包括固定在转轴 3 上的可动铁片 4、游丝 5、指针 6 和阻尼片 7。

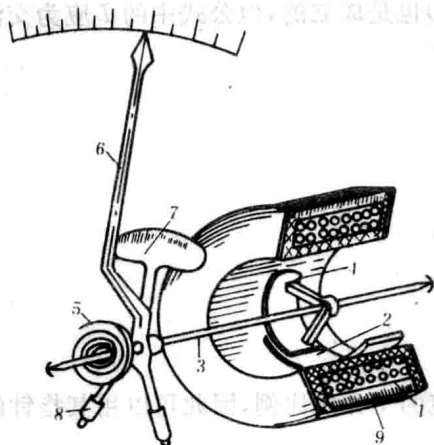


图 1-14 圆线圈排斥型测量机构

- 1—固定线圈 2—固定铁片 3—转轴
4—动铁片 5—游丝 6—指针 7—阻尼片
8—平衡锤 9—磁屏蔽

当电流通过线圈时,电流在线圈内部形成的磁场使固定铁片 1 和可动铁片 2 同时磁化,且两铁片的同一侧为相同的极性,见图 1-15。同性磁极相互排斥,产生转动力矩使可动铁片转动,因此这种结构称为排斥型测量结构。当线圈中的电流方向改变时,线圈所产生磁场(B)的方向随着改变,两个铁片的磁化极性也同时改变,同侧的磁化极性仍然相同,相互间作用力仍是排斥,转动力矩的方向保持不变。所以排斥型测量机构可动部分的偏转方向,和吸引型一样,也是不随电流方向的变化而改变的,因此这种结构同样可以用在交、直流测量中。

综上所述,电磁系测量机构是将被测电流通过一固定线圈,由线圈产生的磁场磁化铁芯,利用线圈与铁芯(吸引型)或铁芯与铁芯(排斥

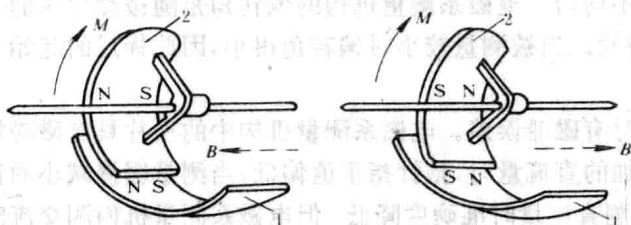


图 1-15 排斥型测量机构工作原理

- 1—固定铁片 2—可动铁片

型)相互作用产生转动力矩而构成的测量机构。它和磁电系测量机构的区别在于它的磁场是由被测电流通过线圈产生,而磁电系测量机构的磁场来自永久磁铁。

二、工作原理

根据上述讨论,电磁系测量机构是利用线圈通入交、直流电流时,能产生一定方向的转矩,带动指针偏转最后指示出被测电量的值。下面我们来分析转动力矩与通过线圈电流的关系。

在吸引型结构中,电磁吸力是通电线圈的磁场与被磁化铁片的磁场相互作用产生的。如线圈的磁势 NI 越大,则一方面线圈的磁场越强,吸力就越大;另一方面被磁化的铁片磁性也越强(未达磁饱和时),吸力也就越大。因此,线圈对铁片的电磁吸力,应和线圈磁势的平方(NI)²成正比。在排斥型结构中,斥力来自两个被磁化的铁片的磁场,而这两个磁场都和线圈的磁势成正比,所以斥力也与线圈磁势的平方成正比。总之,电磁系测量机构的转动力矩都和线圈磁势的平方成正比,即转动力矩

$$M = K_1(NI)^2 \quad (1-5)$$

式中 K_1 是一个系数,与线圈、铁片尺寸和形状以及它们的相对位置有关。