

邮电技工学校试用教材

有线电信测试仪表

王晓元 张万棠 编

内 容 提 要

《有线电信测试仪表》是邮电技工学校的基础课教材。书中首先论述了测量与误差的概念，然后介绍了有线电信通用测试仪表万用表、兆欧表、电桥、电子电压表、振荡器、传输测试器、杂音测试器、示波器、线路障碍脉冲测试器、频率计及晶体管特性图示仪等的基本知识和操作技能。书后并有附录，列举了一些电平的计算。

本书内容简明扼要，力求联系实际、通俗易懂。

本书还可作为电信学校、职业学校和电信短训班的参考教材，也可作为电信职工自学用书。

邮电技工学校试用教材

有线电信测试仪表

王晓元 张万紫 编

责任编辑：赵新五

人民邮电出版社出版

北京东长安街27号

河北省邮电印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

开本 787×1092 1/32 1988年11月 第 一 版
印张, 15 页数, 240 1988年11月河北第1次印刷
字数, 342千字 插页 1 印数 1—5 000 册

ISBN7-115—03686—1/TN·109

定价, 5.25元

目 录

第一章 模拟指示仪表	1
第一部分 机电式仪表	1
第一节 磁电式仪表	5
第二节 电磁式仪表	9
第三节 电动式仪表	12
第四节 兆欧表	17
第五节 整流式仪表	18
第六节 热偶式仪表	21
第七节 静电式仪表	23
第八节 感应式仪表	24
第二部分 电子式仪表	28
第九节 直流电压表	28
第十节 交流电压表	32
第十一节 零值检测器	38
第十二节 霍尔效应器件	40
第十三节 指示仪表比较	42
第二章 模拟图示仪表	43
第一节 动圈式记录仪表	43
第二节 电位差计式记录仪	48
第三节 光线示波器	54
第四节 记录仪比较	67
第三章 比较式仪器	68
第一节 直流电位差计	68
第二节 交流电位差计	74

第三节	直流电桥	80
第四节	交流电桥	82
第五节	变压器单边比率电桥	86
第六节	变压器双边比率电桥	93
第七节	双“T”网络	101
第八节	自动平衡电桥	104
第九节	不平衡电桥	109
第十节	直流电流比较仪式仪器	112
第十一节	仪器比较	119
第四章	干扰和屏蔽	120
第一节	元件不纯	120
第二节	元件不纯对信号的影响	129
第三节	探头	136
第四节	静电干扰	138
第五节	电磁干扰	145
第六节	多点接地和接地回路	146
第七节	漂移和噪声	149
第五章	信号调节	150
第一节	阻抗影响	150
第二节	电压变换	153
第三节	电流变换	160
第四节	衰减器	165
第五节	运算放大器	169
第六节	调制器	174
第七节	模/数转换	177
第八节	信号调节器比较	178
第六章	数字仪表	179
第一节	显示方式	179
第二节	差动电压表	181

第三节	计数器	184
第四节	数字电压表	191
第五节	数字仪表比较	211
第七章	仪器仪表的检验	212
第一节	标准	213
第二节	误差分析	221
第三节	校准方法	233
第八章	仪表选择和仪表规格	253
第一节	仪表选择	253
第二节	规格分析	256
第三节	仪表比较	263
第九章	数据记录和分析	267
第一节	数据记录装置	267
第二节	仪用磁带记录仪	272
第三节	数据分析仪器	286
第四节	比较	292
第十章	仪器系统	293
第一节	几种用途不同的仪器系统	293
第二节	标准化仪器系统	297
第三节	自动化程度不同的三种仪器系统	313
第十一章	微处理器在仪器仪表中的应用	316
第一节	应用微处理器的优越性	316
第二节	微处理器和微计算机	320
第三节	微处理器在仪器仪表中的应用	351
附录 1	缩写表	383
附录 2	常用符号表	384
参考文献		386

四、使用注意事项	(236)
习题和思考题	(238)
第八章 杂音测试器	(239)
第一节 概述	(239)
一、杂音的来源	(239)
二、杂音计电压	(240)
三、杂音测试器的基本原理	(240)
第二节 QP670 I 型杂音测试器	(242)
一、基本工作原理	(242)
二、面板旋钮的作用	(246)
三、技术性能	(248)
第三节 使用方法和注意事项	(252)
一、使用方法	(252)
二、使用注意事项	(253)
第四节 测试应用实例	(254)
一、电话局内杂音测试	(254)
二、测量电源设备的杂音	(256)
三、测量载波电路的杂音	(257)
四、测量强电线的干扰杂音	(258)
思考题和习题	(259)
第九章 示波器	(260)
第一节 概述	(260)
第二节 示波器显示波形的原理	(262)
一、示波管	(262)
二、波形的显示原理	(265)
第三节 SB—10型示波器	(268)
一、基本工作原理	(268)
二、面板旋钮的作用	(273)
三、技术性能	(277)

四、使用方法和注意事项	(278)
第四节 ST16型示波器	(281)
一、基本工作原理	(282)
二、面板旋钮的作用	(285)
三、技术性能	(289)
四、使用方法和注意事项	(291)
第五节 双踪示波器简介	(291)
一、双踪显示的基本原理	(291)
二、双踪示波器实例	(296)
第六节 测试应用	(304)
一、几种基本测量方法	(304)
二、在通信方面的测试应用	(312)
三、用示波器检修设备电路的故障	(319)
思考题和习题	(324)
第十章 线路障碍脉冲测试器	(325)
第一节 概述	(325)
第二节 脉冲测量的基本原理	(326)
一、测量障碍点的距离	(326)
二、判断障碍的性质	(328)
第三节 MST型线路障碍脉冲测试器	(331)
一、基本工作原理	(331)
二、面板旋钮的作用	(338)
三、技术性能	(341)
四、使用方法	(343)
五、使用注意事项	(347)
第四节 测试应用	(348)
一、测试通信明线的混线障碍	(348)
二、测试线路的接地障碍	(350)
三、测量用标尺换算表	(353)

第一章 模拟指示仪表

模拟式仪表是输出或显示随时间连续可变，并对输入保持一种固定关系的仪表。

五十年代以来，数字仪表的数量虽不断增加，应用越来越广，但是数字仪表和模拟式仪表的通用性仍受到一定限制，某些应用也未必都能用数字仪表代替。因此，模拟式仪表仍有广泛使用的价值。

本书第一章、第二章着重讨论模拟式仪表。这种仪表可以分为三种类型：1. 机电式仪表；2. 电子式仪表；3. 模拟图示仪表。电子式仪表一般由磁电式指示器加电子线路构成，因而增加了仪表的灵敏度和输入阻抗；模拟图示仪表对机电式和电子式仪表的显示作了改进布置，能获得随时间变化的瞬时值的图示轨迹。

第一部分 机电式仪表

机电式仪表就是指通常所说的电气测量指示仪表。它包括磁电式仪表、电磁式仪表、电动式仪表、静电式仪表、感应式仪表等。这些仪表的主要作用都是将被测电量转换成仪表活动部分的偏转角位移。

为了将被测量转换成角位移，这些仪表通常由测量机构和测量线路两部分组成。电压表的附加电阻或电流表的分流器电路等都是测量线路。它们用来将被测量 x （电压、电流、

功率等)变换成为测量机构可以直接测量的电磁量。测量机构是仪表的核心,它由活动部分与固定部分组成,指示被测量数值的指示器装在活动部分上。测量机构的主要作用有三方面:1.产生偏转力矩;2.产生反作用力矩;3.产生阻尼力矩。

要使仪表的指示器转动,在测量机构内必须有偏转力矩作用在仪表的活动部分上。偏转力矩一般由磁场和电流(或铁磁材料)的相互作用产生,而磁场的建立可以利用永久磁铁,也可以利用通有电流的线圈。

三种常用的机电式仪表产生偏转力矩的方式如下:

1. 磁电式仪表:固定的永久磁铁磁场与通有直流电流的可动线圈间的相互作用产生偏转力矩。

2. 电磁式仪表:通有电流的固定线圈的磁场与铁片的相互作用产生偏转力矩;或者处在磁场中的两个铁片的相互作用产生偏转力矩。

3. 电动式仪表:通有电流的固定线圈的磁场与通有电流的可动线圈间的相互作用产生偏转力矩。

它们产生偏转力矩 M 的大小,通常是被测量 x 与偏转角 θ 的函数,即 $M=f(x, \theta)$ 。

为了获得特定的指示,当偏转力矩作用在仪表的活动部分使它发生偏转时,活动部分必须受反作用力矩作用;而反作用力矩方向与偏转力矩相反,并必须随偏转角的增大而增大。当偏转力矩与反作用力矩大小相等时,指示器就停止下来,指示出被测量的数值。

反作用力矩可以用游丝或张丝产生。这时,反作用力矩 $=C \times \theta$ 。式中 C 是反作用力矩系数,它取决于所用器件的材料和几何形状。

实际上,因为仪表的活动部分有转动惯量 J , 所以, 当偏转量变化时, 将产生加速力矩 $J \frac{d^2 \theta}{dt^2}$, 导致指示器在平衡位置左右摆动, 不能很快停止下来。为了防止输入电量变化时引起的过度振荡, 必须提供阻尼力矩 $D \frac{d\theta}{dt}$, 让它在活动部分运动时发挥阻尼作用。式中 D 为阻尼常数。通常用来产生阻尼力矩的方法有下面三种:

1. 涡流阻尼——当与仪表活动部分连在一起的导电金属片运动时, 切割永久磁铁的磁力线而产生阻尼力矩。

2. 空气阻尼——当与仪表活动部分连在一起的叶片运动时, 受到空气对它的阻力而产生需要的阻尼力矩。液体阻尼是这种原理的推广。

3. 磁场里的线圈的运动, 在线圈里产生感应电势。因为这个线圈经外电路闭合, 所以产生感应电流。这种方法利用这个电流反抗偏转电流的变化和使仪表的响应变慢。这个反抗电流的大小与连接仪表的电路电阻有关。

综合上述力矩, 则指示式仪表的运动方程为:

$$J \frac{d^2 \theta}{dt^2} + D \frac{d\theta}{dt} + C\theta = M \quad (1.1)$$

它有一个稳态解 (M 为某一特定力矩):

$$C\theta = M \quad (1.2)$$

和一种动态或暂态解:

$$\theta = Ae^{\lambda_1 t} + Be^{\lambda_2 t} \quad (1.3)$$

式中 A 和 B 是任意常数, 而

$$\lambda_1 = \frac{-D}{2J} + \left(\frac{D^2}{4J^2} - \frac{C}{J} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (1.4)$$

$$\lambda_2 = \frac{-D}{2J} \pm \left(\frac{D^2}{4J^2} - \frac{C}{J} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (1.5)$$

对于某一特定的仪表，随阻尼常数 D 的变化，将导致三种不同的暂态响应形式：

(a) $\frac{D^2}{4J^2} > \frac{C}{J}$ ——根 λ_1 和 λ_2 是不相等的实根，这种状态叫做过阻尼，见图 1-1 中的曲线(a)。

(b) $\frac{D^2}{4J^2} = \frac{C}{J}$ ——根是实根并相等， D 为临界值，见图 1-1 中的曲线(b)。

(c) $\frac{D^2}{4J^2} < \frac{C}{J}$ ——给出的根是共轭复量，系统为欠阻尼，见图 1-1 中的曲线(c)。衰减振荡的频率是：

$$\omega = \left(\frac{C}{J} - \frac{D^2}{4J^2} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (1.6)$$

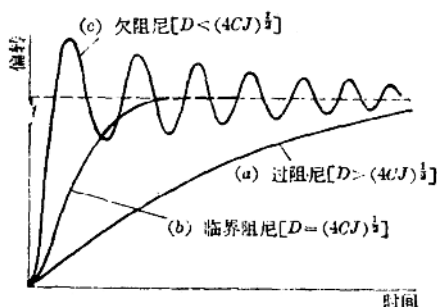


图 1-1 阻尼量对运动响应的影响

由此可见，阻尼量对仪表的动态性能影响很大。通常的作法是使指示仪表的阻尼比临界阻尼稍低，以确保指针从一个位置变到另一个位置时，具有最少的阻尼时间。

如果 (1.1) 式中的反作用力矩是用与产生偏转力矩类似

的电磁力产生的,则构成了“流比计”。目前广泛使用的兆欧表即基于这种原理。

(1.1)式对分析利用电荷同性相斥、异性相吸原理产生偏转力矩的静电式仪表,对分析通有交流电流的固定线圈与在可动铝盘中所感应的电流相互作用而产生偏转力矩的感应式仪表,也都有·一定的帮助。

第一节 磁电式仪表

一、工作原理

磁电式仪表是利用永久磁铁的磁场与载流线圈相互作用的原理制成的。它的一般结构如图 1-2 所示。在均匀辐射的磁场里放入一只动圈,当动圈通过电流 I 时,则产生偏转力矩

$$M = BINA \quad (1.7)$$

式中 B ——均匀辐射磁场的磁感应强度;

N ——动圈的匝数;

A ——动圈围成的面积。

这个力矩应该与游丝产生的反作用力矩相等,即

$$BINA = C \cdot \theta$$

$$\therefore \theta = BNA \cdot I / C = S \cdot I \quad (1.8)$$

式中的 $S = BNA/C$ 是仪表的灵敏度。对特定的仪表,它是一个常数。也就是说,偏转角 θ 与通过动圈的电流 I 成正比,标尺具有线性刻度。这是非常有用的特性,是许多复杂的电子仪表应用它来显示的重要原因。不过,由于惯性,这种仪表只能响应稳态或缓慢变化的量。

如果空气芯线圈设置在旋转轴的一侧(图 1-3),则仪表的标尺长度能增加到 $120^\circ \sim 240^\circ$,甚至 300° ,对于同样的仪表量程就能得到更好的读数分辨力。

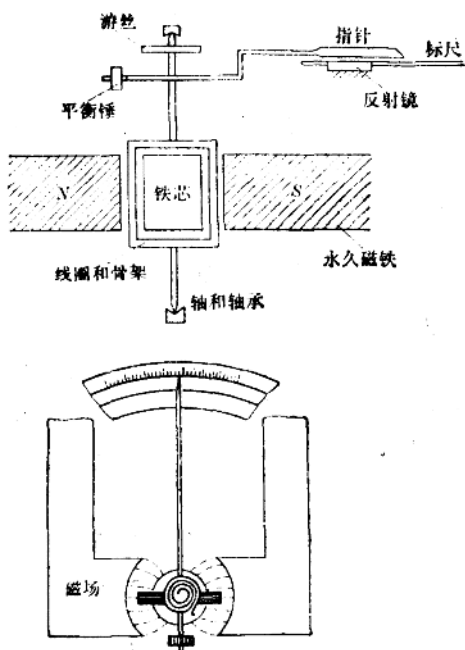


图 1-2 磁电式仪表

反作用力矩可以由游丝或张丝的扭转产生。后一种方法比较新(图 1-3)，它不再需要轴尖轴承，因此，消除了其中的摩擦影响，目前应用越来越广。

指针是轻量型的结构。精密仪表的指针都扭转成精致的刀片形，以有助于减少读数的视差。读数时，通过对准指针的刀片和在它下面的标尺镜子里的反映来实现。指针的重量通常用位于轴对面的平衡锤平衡。

为了防止过度振荡，一般利用绕有动圈的铝框架产生阻尼力矩。另外，这些年来由于硬磁材料性能的提高，永久磁铁

系统的尺寸缩小了很多,而且,还出现了永久磁铁放在动圈里面的“内磁式”仪表。

二、特性

1. 仅适用于直流。
2. 和其他非电子式模拟仪表比较,功耗低,灵敏度高,对外电路影响小。
3. 高力矩/重量比。
4. 线性标尺;用偏置线圈的结构可以得到很长的线性标尺。
5. 外磁场的影响小。
6. 运用金属骨架里的涡流可以得到相当好的阻尼作用。
7. 灵敏度范围宽。

三、应用

1. 作电流表

这是磁电式仪表的一

种直接应用。因为它的偏转直接与电流成正比;或者更严格地说,与线圈的安匝数成正比。因此,绕以大量的匝数,则小电流将足以得到满刻度偏转——具有 $50\mu\text{A}$ 满刻度偏转的仪表很普通;也可以使用少量的匝数和通过较大的电流。不过,能直接通过的最大电流将受线圈导线的粗细限制;也受连接动圈到外部电路的器件限制。为了测量大于 1A 的电流,通常需要使用分流器(详见第五章),原则上,它提供一个低电阻通路与仪表动圈并联。如图 1-4 所示。

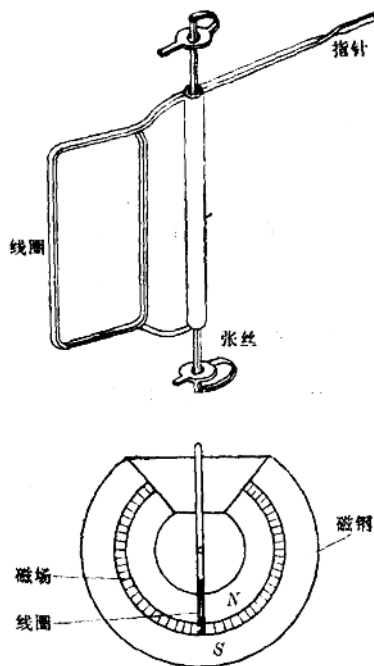


图 1-3 广角度仪表

2. 作电压表

如上所述,磁电式仪表具有直接与电流成正比的偏转。因此,

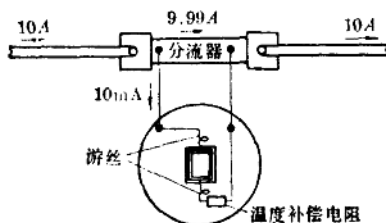


图 1-4 用磁电式仪表测量电流

使用这种仪表作电压表时,只需将未知电压量转换成与它成比例的小电流(mA),并让这个电流通过仪表动圈。具体地讲,即在磁电式仪表上串联连接大小合适的电阻,然后,把这个

组合接到未知电压上(图 1-5)。这种电压表也具有线性标尺。

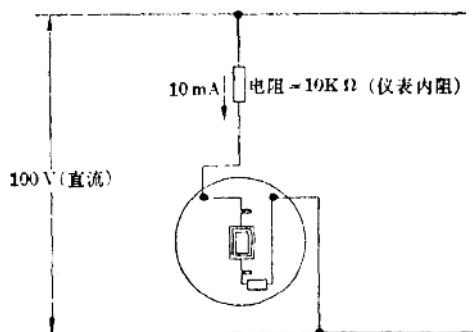


图 1-5 用磁电式仪表测量电压

3. 作万用表

万用表是以多用途、多量程使用的显示仪表。通常,它由微安表、选择开关、电流量程分流器、电压量程串联电阻等组成。它的电阻量程,必须接上电池组,并且和微安表串联限流电阻。微安表与限流电阻串联后,或者和未知电阻并联($R_x=0$, 零读数 and 电流量程的零读数一致);或者和未知电阻

串联(当 $R_x=0$ 时, 对应电流量程的满度)。

4. 作检流计

检流计的结构如图 1-6 所示。为了提高灵敏度(最高灵敏度超过 $500 \text{ mm}/\mu\text{A}$)，动圈匝数很多，使用张丝或悬丝悬挂和光点反射。检流计中零点的位置在标尺的中央，指示器正向或负向运动都可以，依赖于线圈中的电流方向。这种仪表可用来测量平衡或流过一个线路两部分之间的零电流。在检流计中少量为液体阻尼，而大部分通常是电磁阻尼。

为了进一步提高灵敏度，还可在光点反射检流计前面加光电放大。

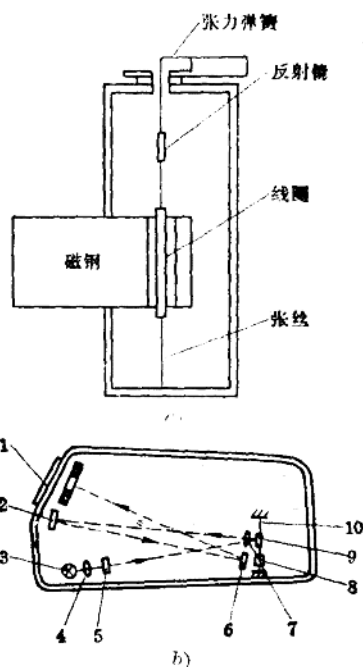


图 1-6 磁电式检流计

a) 检流计结构; b) 光学系统
1—标尺; 2、6—反射镜; 3—灯;
4、7—透镜; 5—光栏; 8—动圈;
9—平面镜(反射镜); 10—张丝

第二节 电磁式仪表

一、工作原理

这种仪表的偏转力矩由载流线圈的磁场吸引动铁片的吸引力产生; 或者由载流固定线圈里设置的动铁片与定铁片的

排斥力产生。反作用力矩由游丝或张丝产生，通常用空气阻尼。如果使用成形的铁片(图 1-7b)，排斥型机构的仪表可获得 240° 偏转，因此，这种型式使用更广。从吸引或排斥的原理可以看出，电磁式仪表的偏转力矩与 KI^2 成比例，其中 K 是与偏转角有关的系数。所以，这种仪表能够用在交流或直流电路中。

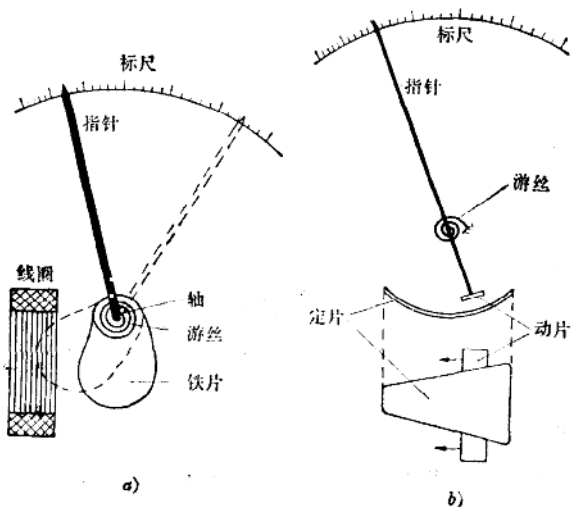


图 1-7 电磁式仪表

a) 吸引式; b) 排斥式

二、特性

1. 非线性标尺，但结构简单，过载能力大(因为测量机构的活动部分不通过电流)，制造仪表的成本低。因此，安装式交流电流表、电压表往往采用这种结构。

2. 有指示滞后现象。当测量缓慢增加的直流时，电磁式仪表给出较低的读数；当测量缓慢减少的直流时，产生较高的