

电 工 学 教 程

第 三 分 册

中国人民解放军空军司令部

一九七五年七月 北 京



空军医专610 2 0055299 6

电 工 学 教 程

第 三 分 册

中 国 人 民 解 放 军 空 军 司 令 部

一 九 七 五 年 七 月 北 京

第三分册目录

第四篇 电工测量原理

第三十二章 电工测量仪表原理	617
第一节 电工测量仪表的一般知识	617
第二节 磁电式仪表原理	621
第三节 电磁式仪表原理	627
第四节 电动式仪表原理	629
第五节 电流比值表原理	632
第六节 感应式仪表和振动式仪表原理	634
第三十三章 各种电磁量的测量方法	637
第一节 电流的测量	637
第二节 电压的测量	640
第三节 电阻的测量	642
第四节 电功率和电功的测量	648
第五节 电感和电容的测量	651
第六节 仪表的校准	652

第五篇 电机原理

第三十四章 直流电机的基本原理	655
第一节 直流电机产生平稳电动势和电磁转矩的原理	655
第二节 直流电机的运行方式	658
第三节 直流电机的基本结构、电枢绕组和激磁方法	662
第四节 直流电机的电动势和电磁转矩的大小	673
第五节 直流电机的电枢反应	675
第六节 直流电机的换向	678
第三十五章 直流发电机原理	686
第一节 他发电机的特性	687
第二节 自发电机的特性	689

第三节	直流发电机并联供电原理	696
第四节	电机放大机	698
第三十六章	直流电动机原理	704
第一节	概 述	704
第二节	直流电动机的稳态特性	706
第三节	直流电动机的起动	710
第四节	直流电动机的调速	713
第五节	直流电动机的反转和制动	718
第三十七章	变压器原理	723
第一节	变压器的一般知识	723
第二节	变压器工作状态的分析	726
第三节	变压器的等效电路	732
第四节	三相变压器和自耦变压器	735
第五节	特种变压器介绍	742
第三十八章	异步电机原理	745
第一节	异步电机的基本工作原理及其结构	745
第二节	三相异步电动机原理	753
第三节	单相异步电动机原理	759
第四节	两相异步电动机原理	763
第三十九章	同步电机原理	769
第一节	同步电机的基本原理和结构	769
第二节	同步发电机的电枢反应	773
第三节	同步发电机的特性	774
第四节	同步发电机的并联运行	776
第五节	感应子式同步发电机原理	779
第六节	同步电动机的特点	782
第七节	磁滞电动机的原理	786

第六篇 化 学 电 源

第四十章	原电池	789
第四十一章	酸性蓄电池	796
第一节	铅蓄电池的基本工作原理和结构	796
第二节	铅蓄电池的电动势和内阻	799

第三节	铅蓄电池的放电特性和充电特性	800
第四节	铅蓄电池的容量、效率和使用寿命	805
第五节	铅蓄电池的过量自放电和极板硫化	807
第四十二章	碱性蓄电池	811
第一节	常用的碱性蓄电池	811
第二节	银锌蓄电池介绍	818

第四篇

电工测量原理

在电工技术中，各种电磁量的测量总称为电工测量或电磁测量，例如电流、电压、功率、电路参数(电阻、电感、电容)的测量等都是。

毛主席教导我们：“对情况和问题一定要注意到它们的数量方面，要有基本的数量的分析”^①。这个道理对于科学技术工作来说，也是完全适用的。我们在使用各种电气设备的时候，必须注意到它们的基本电气数据，只有掌握了这些数据，才能分析出它们的工作情况是否正常、性能是否良好等等。而要获得这些数据，必须应用各种电工测量技术。

电工测量技术的基本问题有两个：一是要解决电工测量的工具，即电工测量仪表的原理问题；一是要解决测量方法问题。这两个问题也就是本篇的基本内容。

第三十二章 电工测量仪表原理

第一节 电工测量仪表的一般知识

在研究各种电工测量仪表原理以前，本节首先介绍有关电工测量仪表的分类，以及对它的要求等一般知识。

一、电工测量仪表的分类

电工测量仪表按测量方法的不同，可分为两大类：一类是直读式仪表；另一类是比较式仪表。具有读数装置因而能够直接读出被测量的数值的仪表，称为直读式仪表，如测量电流的安培表和测量电压的伏特表，等等。测量时需要把被测量同标准器^{〔一〕}进行比较，才能得到被测量的数值的仪表，称为比较式仪表。这种仪表必须有标准器才能测量。例如，测量电阻用的电桥，就是一种比较式仪表，它必须有标准电阻，否则，就无法测量。

^① 《党委会的工作方法》。《毛泽东选集》，人民出版社 1967 年 11 月 64 开横排本，第 1332 页。

在实际测量中，用得最多的是直读式仪表。常见的直读式仪表按其动作原理的不同，可分为以下几种。

磁电式仪表：它是利用永久磁铁和载流线圈的相互作用而动作的。

电磁式仪表：它是利用载流线圈和活动铁片之间的相互作用而动作的。

电动式仪表：它是利用两个载流线圈之间的相互作用而动作的。

感应式仪表：它是利用线圈产生的交变磁场和可动的金属圆盘中感应电流的相互作用而动作的。

振动式仪表：它是利用机械共振的原理制成的。

带有整流器、热电偶或电子管等变换器的磁电式仪表，则分别称为整流式、热偶式和电子管式仪表。各种类型仪表的常用符号，如表 32-1 所示。

电工测量仪表的型式及符号

表 32-1

仪 表 型 式	符 号	仪 表 型 式	符 号
磁 电 式		振 动 式	
电 磁 式		整 流 式	
电 动 式		热 偶 式	
感 应 式		电 子 管 式	

按被测量的不同，直读式仪表又可分为安培表、伏特表、欧姆表、瓦特表等等，如表 32-2 所示。

按电流种类的不同可分为：直流电表、交流电表、交直流两用电表。其符号如表 32-3 所示。表中还列出了其他一些常见的符号。

二、对电工测量仪表的要求

俗话说：“工欲善其事，必先利其器”。要想测量做到准确可靠，必须要有性能良好的测量仪表。对电工测量仪表的要求很多，如构造简单、性能稳定、消耗电能少、工作可靠、阻尼作用好等。但是，最基本的要求则是准确和灵敏。

(一) 误差和准确度

仪表所测量的读数同被测量的实际数值之间的差值，称为仪表的误差。误差的大小可以

电工测量仪表按被测量的分类及其符号

表 32-2

序 数	被测量的量	仪 表 名 称 (符 号)	序 数	被测量的量	仪 表 名 称 (符 号)
1	电 流	安培表 A 千安表 KA 毫安表 mA 微安表 μA	5	相 位	相位计 φ 功率因数表 $\cos \varphi$
2	电 压	伏特表 V 千伏表 KV 毫伏表 mV	6	频 率	赫兹表 Hz (频率表)
3	电功率	瓦特表 W 千瓦表 KW	7	电 阻	欧姆表 Ω 高阻表 M Ω
4	电 能	瓦时表 Wh (电度表) 千瓦时表 KWh	8	电 容	法拉计 F
			9	电 感	亨利计 H

电工测量仪表刻度盘上常用的符号

表 32-3

表 示 意 义	符 号	表 示 意 义	符 号
直流电	—	频率50赫	~ 50
交流电	$\sim$	绝缘强度 2 千伏	$\surd 2$ 千伏
交直流两用	$\approx$	垂直放置	$\perp$
三相交流电	$\approx$	水平放置	$\sqcap$
		放置时与水平成 60° 角度	$\triangle 60^\circ$

用来表示仪表的准确程度，简称准确度。误差小，说明仪表的准确度高；误差大，说明仪表的准确度低。

产生误差的具体原因很多，其主要的有以下两个方面：

仪表构造不完善 由于制造仪表的技术水平的限制，以及零件材料的性能不够良好等，都会使仪表在正常使用过程中产生误差。例如：仪表转动部分轴承摩擦较大、机件安装不正、弹性元件性能变坏及标尺刻度不准等，都会引起读数误差。这些原因引起的误差是仪表本身固有的，称为仪表的基本误差。

外界因素变动的影晌 “每一事物的运动都和它的周围其他事物互相联系着和互相影响着”^①。仪表在测量时同样要受到外界其他事物的影响，而使读数产生误差。这些外界事物

^① 《矛盾论》。《毛泽东选集》，人民出版社 1967 年 11 月 64 开横排本，第 276 页。

包括仪表四周的温度、外界的电场和磁场等。这种因外界事物变动引起的误差，称为附加误差。

除上述的原因以外，如测量方法不正确，或者由于测量者不正确的读数习惯等，也会引起误差。

电工测量仪表读数的误差有三种表示法：

第一，绝对误差。以仪表读数(A_1)与被测量的实际值(A)之差表示的误差，称为绝对误差(ΔA)，即

$$\Delta A = A_1 - A, \quad (32-1)$$

绝对误差的负值，称为补值，用 δ_A 表示，即

$$\delta_A = -\Delta A = A - A_1. \quad (32-2)$$

如果已知仪表补值的大小，将仪表的读数加上补值就可以得到被测量的实际值。

第二，相对误差。用绝对误差和被测量实际值的百分比表示的误差，称为相对误差 β ，即

$$\beta = \frac{\Delta A}{A} \times 100\%. \quad (32-3)$$

第三，相对额定误差。仪表在正常工作条件下发生的最大绝对误差($\Delta A_{\text{最大}}$)和仪表的额定值(测量的最大值 $A_{\text{额定}}$)的百分比，称为相对额定误差 $\beta_{\text{额定}}$ ，也称容许误差，即

$$\beta_{\text{额定}} = \frac{\Delta A_{\text{最大}}}{A_{\text{额定}}} \times 100\%. \quad (32-4)$$

仪表在正常的工作条件下，相对额定误差是由仪表本身固有的误差所引起的。它可以表示仪表在结构上所能保证的准确程度，因此电工测量仪表的准确度通常就是用仪表的相对额定误差来表示的。仪表准确度等级的划分如下表所示。

电工测量仪表准确度等级

表 32-4

仪 表 等 级	相对额定误差%	仪 表 等 级	相对额定误差%
0.1	± 0.1	1.5	± 1.5
0.2	± 0.2	2.5	± 2.5
0.5	± 0.5	5.0	± 5.0
1.0	± 1.0		

准确度属于0.1、0.2级的仪表，其相对额定误差不超过 $\pm 0.1\%$ 和 $\pm 0.2\%$ ，这种仪表多作为校准用的标准仪表。在配电盘上则多用1.0~2.5级的仪表。仪表的准确度常标明在刻度盘上，其标记为④、⑩或⑮等。

(二) 灵敏度

仪表指针偏转角(或线位移长度)的变化值 $\Delta\alpha$ (或 Δl)，与被测量的变化值 ΔX 的比值，

称为仪表的灵敏度 S ，即

$$S = \frac{\Delta \alpha}{\Delta X}; \text{ 或 } S = \frac{\Delta l}{\Delta X}. \quad (32-5)$$

仪表的灵敏度，是表示仪表反映被测量的灵敏程度的。灵敏度不同的仪表，对于相等的被测量，其指针偏转角的大小是不同的：灵敏度高的仪表，其指针的偏转角大；灵敏度低的仪表，其指针的偏转角小。

灵敏度的单位和被测量有关，因此，在说明仪表的灵敏度时，必须指明被测量是什么。例如，是电流的灵敏度，或是电压的灵敏度等等。

刻度不均匀的仪表，其灵敏度在各个刻度范围内是不同的。刻度均匀的仪表，其灵敏度则处处相同。这样，对于刻度均匀的仪表，其灵敏度还可用指针偏转角与被测量的比值来表示，即

$$S = \frac{\Delta \alpha}{\Delta X} = \frac{\alpha}{X}. \quad (32-6)$$

对于刻度均匀的仪表，实用中常以指针偏转到满刻度（即最大偏转角）所需被测量定为该仪表的灵敏度，就是这个道理。例如，电流表通过 1 毫安电流，其指针就达到满刻度时，则其灵敏度就定为满刻度 1 毫安。

仪表灵敏度的倒数，称为仪表常数 C ，即

$$C = \frac{1}{S}. \quad (32-7)$$

仪表常数表示仪表指针每偏转一个单位刻度所代表的被测量。仪表常数的数值越大，仪表的灵敏度就越低；反之，仪表的灵敏度就越高。因此仪表常数也可以表示出仪表的灵敏度的高低。

第二节 磁电式仪表原理

磁电式仪表是利用永久磁铁和载流线圈的相互作用使活动部分偏转的。这种仪表灵敏、准确，本身虽然只是一种直流仪表，但在附加变换器之后，也可以用来测量交流电，所以应用的范围很广。

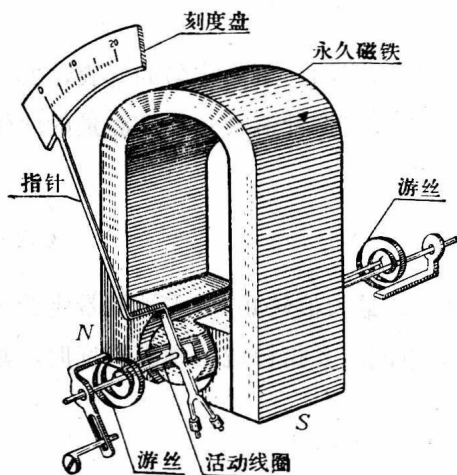
一、工作原理

磁电式仪表通常是由永久磁铁、活动线圈、游丝以及指针、刻度盘等主要部件组成的，如图 32-1(a) 所示。永久磁铁和线圈是产生电磁转矩的机构，游丝是产生反抗转矩的机构。

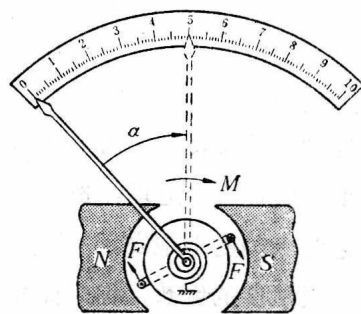
恩格斯说：“一切自然过程都有两个方面，它们建立在至少是两个起着作用的部分的关系上，建立在作用和反作用上。”^① 磁电式仪表的动作过程也是如此，它是建立在电磁转矩的

^① 《自然辩证法》，人民出版社 1971 年 8 月第 1 版，第 65—66 页。

作用和反抗转矩的反作用的基础上的。当被测电流通过线圈时，由于电流和永久磁铁的相互作用，就会产生电磁转矩，使线圈绕轴旋转，如图 32-1(b)所示。随线圈转动的同时，游丝就会发生形变而产生反抗转矩，反抗线圈的旋转。反抗转矩和电磁转矩恰好相等的位置，就是载流线圈最后停止转动的平衡位置。线圈达到平衡位置时，借助于装在线圈轴上的指针，就可在刻度盘上读出被测电流的数值。通过线圈的电流越大，则线圈受到的电磁转矩也越大，同它相平衡的反抗转矩也越大，线圈的偏转角也就越大，因而指针所指的读数也就越大。



(a) 基本组成



(b) 工作原理

图 32-1 磁电式仪表

指针的偏转角和被测电流的定量关系，可以从电磁转矩和反抗转矩的关系中求出。假设磁场中的磁感应强度为 B ，线圈的匝数为 N ，线圈中垂直于磁场方向的边长为 l ，通过线圈的电流为 I ，则作用于线圈上的电磁力 F 的大小为

$$F = B l I N.$$

如果以 D 表示线圈的宽度，则电磁转矩 M 为

$$M = F \cdot D = B l I N D.$$

游丝因形变而产生的反抗转矩 $M_{\text{反}}$ 与线圈偏转的角度 α 成正比，即

$$M_{\text{反}} = K \alpha.$$

式中 K 为比例常数，或称弹性系数。

当线圈平衡于某一位置时，电磁转矩和反抗转矩必定相等，即

$$M_{\text{反}} = M$$

或

$$K \alpha = B l I N D.$$

故

$$\alpha = \frac{B l N D}{K} I.$$

在磁电式仪表中, B 、 l 、 N 、 D 、 K 这几个量是由仪表的结构决定的。当磁感应强度分布均匀时, 这些量的乘积可以用一个常数 S (通常叫做仪表的电流灵敏度) 来表示。这样, 上式就可改写为

$$\alpha = SI. \quad (32-8)$$

公式(32-8)说明, 磁电式仪表指针的偏转角与通过线圈的被测电流成正比, 因此, 仪表的刻度是均匀的。

仪表中没有电流通过时, 指针所指的位置叫做分度线的零位。仪表的零位有的在分度线的一边(通常在左边), 有的在中间。零位在一边的磁电式仪表, 只允许通过单方向的电流, 因为电流方向改变了, 电磁转矩的方向也要改变, 指针就要反向偏转, 极易把指针打弯。零位在中间的仪表, 可允许改变电流的方向。为了表明仪表所允许的通流方向, 在磁电式仪表的接线柱上, 一般都标有“+”、“-”符号, 表示电流应从“+”接线柱流进仪表, 从“-”接线柱流出仪表, 测量时必须注意接法要符合这一规定。显然, 磁电式仪表如不加变换器是不能用来测量交流电流的。

二、结构和特点

为了便于叙述, 我们把常用的磁电式仪表的各个部件(见图 32-2a)归并为磁路、电路和指示装置等三个部分来研究。

磁 路 磁路由磁性很强的永久磁铁、极掌、铁芯和磁分流器等组成。极掌装在永久磁铁两磁极上, 铁芯装在极掌中间, 它们的作用是减小磁路中的磁阻, 增强磁通, 并使空气隙的磁场呈匀强辐射状分布, 如图 32-2(b)所示。铁芯和极掌间的空气隙很小, 一般不超过 2 毫

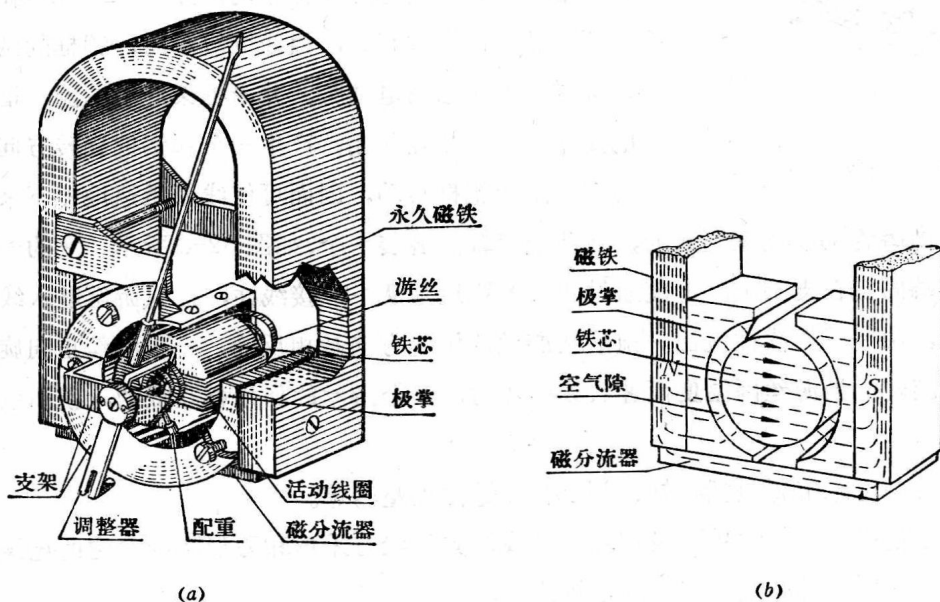


图 32-2 磁电式仪表结构

米。空气隙中的磁感应强度很强，因此，它受外界磁场的影响很小。

磁分流器是一块长条形高导磁系数的软钢，安装在极掌的底部。其作用有二：一是调节空气隙中磁场的强弱；一是进行温度补偿。从图 32-2(b) 中可以看出，永久磁铁的磁通有一部分经分流器而旁路。旁路的磁通越多，空气隙中的磁通就越少。磁分流器所分去的磁通和其位置有关。当它位于两极掌的中间时，分去的磁通最多，空气隙中的磁场最弱。当它靠近任一极掌时，都会使空气隙中的磁场加强。所以，移动分流器的位置就可以调节空气隙中磁场的强弱，从而调节仪表的灵敏度。

当外界的温度升高时，永久磁铁的磁性要减弱，空气隙中的磁场也就随之减弱，但因分流器的导磁系数也是随温度的升高而减小的，通过它的磁通也要减小，总起来看，空气隙中的磁通可以得到补偿。如果磁分流器采用某些特殊的合金制成，甚至可使空气隙中的磁通基本保持不变。因此分流器对空气隙中的磁通又能起有温度补偿的作用。

电 路 电路由活动线圈、铝框和游丝等组成。

活动线圈是用直径为 0.02~0.2 毫米的绝缘铜线绕在铝质的矩形框架上的，铝框的两边

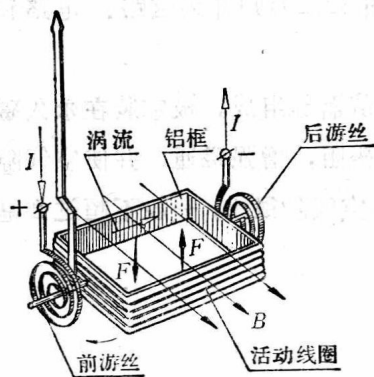


图 32-3 铝框和游丝

装有两个半轴，轴的两端安置在宝石轴承上。所以，活动部分具有重量轻、转动灵活、机械损耗小等特点。磁电式仪表线圈的电阻会因温度的变化而变化，为了减小因电阻随温度变化而引起的误差，可以在电路中串入一个低温度系数的电阻（如锰铜电阻），以补偿温度对线圈电阻的影响。

铝框既是线圈的框架，又是仪表中的阻尼器，它是利用电磁感应原理而起阻尼作用的。如图 32-3 所示，铝框的两边是和磁场垂直的，当线圈转动时，铝框的两边都会切割磁通产生感应电动势，并沿框架产生电流，框架中的电流和磁场的相互作用，产生一个和铝框旋转方向相反的转矩，阻止铝框转动，因而可使线圈迅速地停下来。

游丝是由磷青铜或银丝制成的，在两个半轴上各装一个，如图 32-3 所示。它的一端接在轴上，另一端固定在支架上。电流通过线圈的路径是从“+”接线柱，经前游丝进入线圈，再经过后游丝，由“-”接线柱流出。前后两游丝的旋绕方向是相反的，一根游丝正向旋转，另一根就反向旋转。当游丝因温度而伸长或缩短时，两个游丝的作用相互抵消，就不致引起指针的移动。

指示装置 指示装置包括指针、刻度盘和零位调整器等。

指针的重量很轻，通常用铝或铝合金制成，其形状有矛形和刀形两种。它的尾端装有配重（见图 32-4），使指针的重心能够落在轴线上。

刻度盘上划有分度线，分度线上的数字是根据仪表的偏转角和被测量的关系来标定的。

在磁电式仪表中各分度线间的间隔是均匀的。

调整器是用来调节指针指到零位的装置。如图 32-4 所示,调整器有一个露在仪表外壳的螺丝头,在没有电流通过时,旋转螺丝可将指针调整到零点。

磁电式仪表有以下几个特点:

第一,永久磁铁具有较强的磁场,载流线圈中只要通以不大的电流,便能产生所需的电磁转矩。活动部分轻巧灵活,摩擦力较小,因而灵敏度较高。它的直接测量范围一般为几个微安到几十个毫安。

第二,结构精密,受温度、外磁场等外界的影响小,准确度高,可制成 0.2 级的校准用仪表。

第三,指针偏转角与被测电流成正比变化,刻度均匀,便于取得读数。

第四,由于允许通过活动线圈的电流很小,故这种仪表的消耗功率不大,一般只有十分之几瓦。但过载能力较差。

由于磁电式仪表有以上这些特点,目前它已经成为测量直流电最基本的仪表,被广泛地用在一般工程测量、精密的实验测定以及检验校准等方面。利用它还可以制成不同量程的电流表、电压表以及欧姆表等,在结构上改进以后,还可以制成灵敏度特别高的检流计和灵敏电流表。

三、装有变换器的磁电式仪表原理

磁电式仪表具有很多的优点,也有不能测量交流电的缺点。但是“优点可因我之努力而加强,缺点则因我之努力而克服”^①。只要在磁电式仪表中加上整流器或热电偶后,磁电式仪表不仅能测量低频交流电,而且还可测量高频交流电。装有整流器的磁电式仪表,叫做整流式仪表;装有热电偶的磁电式仪表,叫做热偶式仪表。

(一) 整流式仪表原理

在磁电式测量机构(俗称表头)中,增设一个将交流变为直流的整流器,就成为整流式仪



图 32-5 整流器在电路中的符号

表。整流器是由一个或几个半导体组成的。最常用的半导体是氧化亚铜(Cu_2O),其次是硒。整流器具有单向导电的特性,例如,电流沿氧化亚铜到铜比较容易通过,而沿铜到氧化亚铜,则不易通过。整流器在电路中的符号,如图 32-5 所示。

整流电路有两种:半波整流电路和全波整流电路。半波整流电路如图 32-6 所示。当正弦

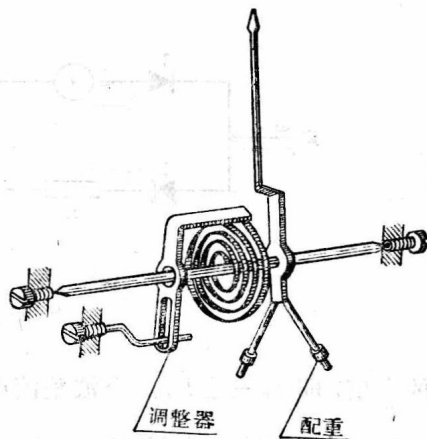


图 32-4 调整器的结构

^① 《论持久战》。《毛泽东选集》，人民出版社 1967 年 11 月 64 开横排本，第 428 页。

电流为正半周时, 电流经过整流器 1 通过仪表; 当正弦电流为负半周时, 电流经过整流器 2, 不经过仪表。这样, 通过仪表的电流为间歇半周的脉动直流, 其平均值等于被测电流最大值

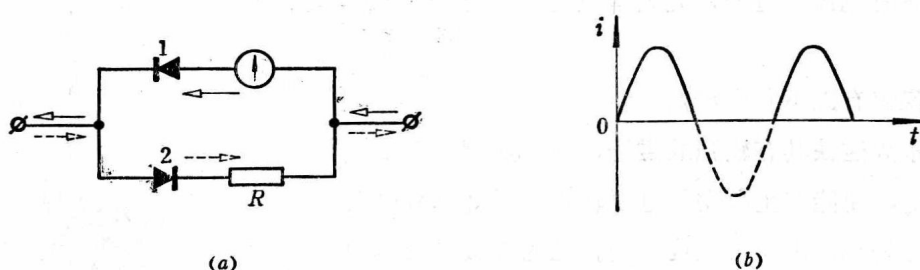


图 32-6 半波整流电路和整流曲线

的 $\frac{1}{\pi}$ 倍, 即 $I_{\text{均}} = \frac{1}{\pi} I_m$ 。全波整流电路如图 32-7 所示, 这种电路又称桥式整流电路。正弦电流的正负半周都通过仪表, 被测电流的平均值等于其最大值的 $\frac{2}{\pi}$ 倍, 即 $I_{\text{均}} = \frac{2}{\pi} I_m$ 。由此可知, 采用全波整流电路时, 仪表的灵敏度比采用半波整流电路要提高一倍。

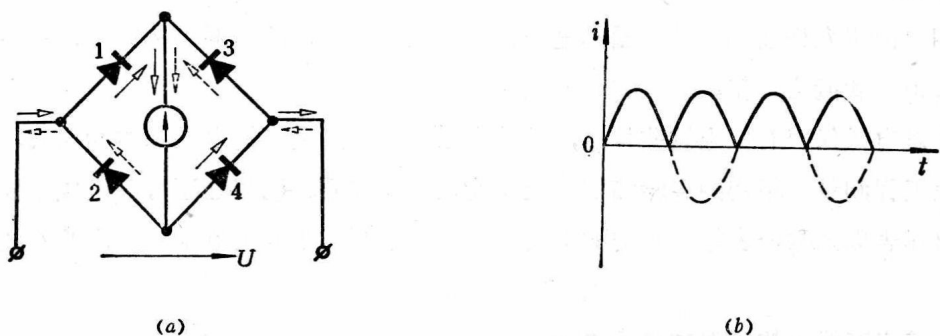


图 32-7 全波整流电路和整流曲线

由于磁电式仪表的活动部分具有惯性, 测量脉动直流时指针的偏转角必与被测电流的平均值成正比。但是通常测量交流电的目的, 是要知道它的有效值, 为此分度线上所注明的数值应等于电流的平均值乘以波形因数。如果被测电流是正弦电流, 刻度盘上所注明的数值就等于平均值的 1.11 倍(对于半波整流应为 2.22 倍)。这种仪表的刻度是不均匀的, 零位附近分度线密集, 其余部分比较均匀, 这是由于在低电压时整流器的伏安特性具有平方特性的原故。

整流式仪表也具有磁电式仪表的优点。但它易受温度和频率的影响, 温度或频率越高, 测量的误差也就越大。例如氧化亚铜整流式仪表, 只能用来测量 500~2000 赫的交流电。对于 2000 赫以上的交流电, 因整流器的极间电容不能忽略, 将会产生很大的测量误差。实用中的整流式仪表, 大多制成电流表和电压表。

(二) 热偶式仪表原理

在磁电式仪表中, 装置一个或几个热电偶组成的热电变换器, 就成为热偶式仪表, 其联接方法如图 32-8 所示。从第七章中知道, 由热电效应产生的热电动势, 其大小与热偶冷端和

热端的温度差成正比。而温度差又取决于热端所感受的热量。当热电偶和磁电式仪表组成的闭合电路中的电阻一定时,由热电动势在活动线圈中产生的电流,就与热端的热量成正比。根据焦耳-楞次定律,载流导线发热量的大小是与导线中电流有效值的平方成正比的。因此流过活动线圈的电流就与被测电流有效值的平方成正比,也就是指针的偏转角与被测电流有效值的平方成正比。写成公式,即

$$\alpha = KI^2. \quad (32-9)$$

式中, K 为结构常数。因为偏转角的大小与被测电流的平方成正比,这种仪表的刻度也是不均匀的,分度线在零位附近密集,在满刻度附近稀疏。

一个热电偶所产生的热电动势,通常只有几十个毫伏,为了提高仪表的灵敏度,常将几个热电偶串联起来,以便得到较大的电动势。

热偶式仪表不但极易受外界温度的影响,准确度较差,而且其过载能力低,量程很小,热电偶寿命也不长。在实用中除了用来测量高频交流电流外,很少用这种仪表。

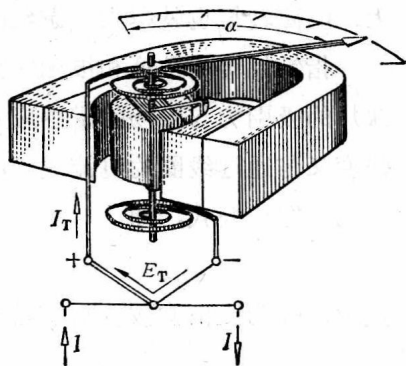


图 32-8 热偶式仪表

第三节 电磁式仪表原理

电磁式仪表是利用载流线圈和活动铁片之间的相互作用而使活动部分偏转的。这种仪表成本低、工作可靠,所以在工程技术中应用得也很广。

一、工作原理

电磁式仪表是由固定线圈、具有高导磁系数的活动铁片、游丝以及指针、刻度盘等部件组成的。根据其具体结构的不同,又可分为吸入式(平线圈式)和排斥式(圆线圈式)两种。

吸入式仪表 恩格斯说:“如果两个物体相互作用,因而它们中的一个或两个都发生位置移动,那末这种位置移动就只能是互相接近或互相分离。这两个物体不互相吸引,就互相排斥。”^①吸入式仪表就是利用被测电流通过固定线圈产生的磁场吸引偏心铁片而使指针偏转的,其结构如图 32-9 所示。当被测电流通过固定线圈时,铁片就被线圈的磁场磁化。由于磁场

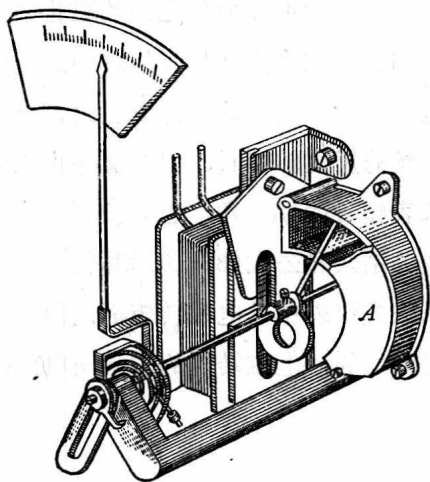


图 32-9 吸入式仪表结构

① 《自然辩证法》，人民出版社 1971 年 8 月第 1 版，第 54 页。

和铁片之间的吸引作用,在活动铁片上就会产生一个绕轴转动的电磁转矩,使活动铁片向线圈中心偏移。当铁片上的电磁转矩和游丝上产生的反抗转矩相等时,活动铁片就停止在某一平衡位置,通过指针在刻度盘上的指示,就可以读出被测电流的数值。通过线圈的电流越大,电磁转矩也就越大,游丝的反抗转矩也相应地增大,仪表指针所指的读数也就越大。

指针偏转的角度和被测电流的定量关系,可以通过磁场对铁片的吸引力求出。因磁场对铁片的吸引力与磁场的磁感应强度的平方成正比,在铁片未饱和的情况下,磁场中的磁感应强度又与通过线圈的电流成正比,因此作用于铁片上的电磁转矩,就与被测电流 I 的平方成正比。写成公式,即

$$M = k_1 I^2,$$

式中, k_1 为比例常数。而游丝产生的反抗转矩 $M_{\text{反}}$ 与轴所转动的角度 α 成正比,即

$$M_{\text{反}} = k_2 \alpha,$$

当活动部分静止时,电磁转矩和反抗转矩相等,即

$$M_{\text{反}} = M; \text{ 或 } k_2 \alpha = k_1 I^2,$$

所以有

$$\alpha = \frac{k_1}{k_2} I^2 = K I^2. \quad (32-10)$$

从上式可以看出,指针偏转角与被测电流有效值的平方成正比。式中的 K 为仪表的结构常数。

排斥式仪表 它是利用被测电流通过线圈产生的磁场,使线圈中的固定铁片和活动铁片同时被磁化,依靠两铁片之间的排斥力,而使活动铁片绕轴旋转的。如图 32-10 所示, A 为

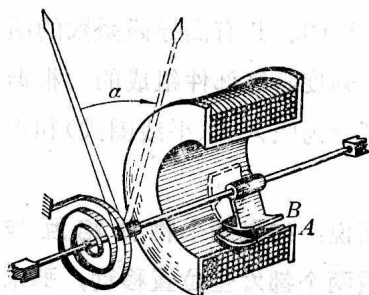


图 32-10 排斥式仪表结构

固定铁片, B 为活动铁片,在两铁片间排斥力的作用下,活动铁片绕轴向左偏转。由于两铁片间的排斥力与它们的磁化强度的乘积成正比,在铁片未饱和之前磁化强度又与线圈中的电流成正比,所以使轴转动的电磁转矩与电流的平方成正比。当作用于轴上的电磁转矩等于游丝的反抗转矩时,指针就停止在某一平衡位置,所以排斥式仪表指针的偏转角, also 与被测电流有效值的平方成正比。其定量关系式和公式(32-10)相同。

由上述分析可知,在电磁式仪表中,电磁转矩都是由载流线圈和磁化铁片的相互作用产生的,电磁转矩的方向同电流的方向无关,因此这种仪表既能测量直流也能测量交流。

二、结构和特点

电磁式仪表的结构比较简单。其固定线圈在吸入式仪表中多制成长方形;在排斥式仪表中多制成圆形(电流表的固定线圈导线粗而匝数少,电压表则细而多)。活动铁片多采用坡莫合金或其他高导磁系数的材料。这种仪表所用的阻尼器大多为空气阻尼器,其结构如图 32-9