

电 工 实 验

电自、化自专业用

上海纺织工学院

电 工 实 验

(电自、化自专业用)



上海纺织工学院

1975·10

江南大学图书馆



91308243

无锡市纺织工业职工大学图书馆	
总号	11610
类别	TM 电工技术
分类号	650
书页	71

目 录

≈≈≈≈≈≈≈≈≈

第一部分 常用电工仪表的作用原理与应用	1
§ 1—1 测量和测量仪表的基本知识	1
§ 1—2 磁电式仪表及直流电压、电流的测量	5
§ 1—3 电磁式仪表及交流电压、电流的测量	9
§ 1—4 电动式仪表及功率的测量	13
§ 1—5 三相功率的测量	17
§ 1—6 感应式仪表及交流电能的测量	20
§ 1—7 电阻的测量	22
第二部分 电工基础实验	26
实验一 欧姆定律及电阻的串联并联	28
实验二 欧姆定律和电路中的电位	31
实验三 电阻的测量	33
实验四 电感线圈的分析	35
实验五 串联谐振现象	38
实验六 功率因数提高	41
实验七 三相负载的连接	46
实验八 三相功率	49
实验九 迭加原理与等效发电机原理	53
实验十 RC 电路过渡过程的研究	55

毛主席语录

人的正确思想只能从社会实践中来，只能从社会的生产斗争、阶级斗争和科学实验这三项实践中来。

第一部分 常用电工仪表的作用原理与应用

§ 1—1 测量和测量仪表的基本知识

人们为着在自然界里得到自由，达到改造世界的目的，就要首先通过实践认识世界。测量就是认识客观世界的重要手段，通过测量可以揭露客观事物的内在联系，总结出它们的规律性，为能动地改造世界创造条件。

因此，测量不仅在科学研究任务中占有大量而又极其重要的地位，在生产斗争中测量也起了重要的作用。例如在生产斗争和科学实验中，常常需要测量电压、电流、电功率、功率因数等电量以及温度、压力、速度、浓度等非电量。各种电量可以用相应的电工仪表来测量。非电量也可以先将非电量转变为电量，然后用电工仪表进行测量。

根据测量方法的不同，电工仪表可分两种基本类型：一种是能够直接读出被测量的大小的，称为直读式仪表。例如电压表、电流表、功率表、电度表（火表）等。另一种是将被测的量与相应的标准量进行比较的，称为比较式仪表。如测温用的毫伏计、测量电势的电位计等。一般说来直读式仪表的灵敏度和准确度不如比较式仪表，但是直接式仪表使用起来方便，而且价格低廉，所以应用较为广泛。表 1—1 列举了一些常用的直读式电工仪表的名称及其对应的符号。

直读式仪表根据它们的构造和动作原理，可以分为磁电式、电磁式、电动式和感应式四种。它们的符号如表 1—2 所示。

观察和测量事物要正确反映客观现实。在观察和测量的过程中可能会发生误差，甚至是错误，因而就产生了认识和客观存在之间的不一致。这种不一致，只能说是由于观察和测量得不完善，不能正确地反映出真实情况，丝毫不能影响客观存在。在观察或测量时所用的工具越细致，这种误差就可越小。

产生误差的主要原因有下列几种：

1. 仪表误差：由于仪表在结构上和制造上所存在的缺点而造成。例如仪表的标尺分度不准确，指针零位不对等。

表 1—1 电工仪表的名称和符号

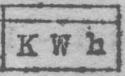
被测对象	仪表名称	符 号	被测对象	仪表名称	符 号
电 流	安培表		电 能	千瓦小时表	
	毫安表		电 阻	欧姆表	
	微安表			兆欧表	
电 压	伏特表		频 率	频率表	 或 
	毫伏表		功率因数	功率因数表	
功 率	瓦特表				

表 1—2 电工仪表结构类型的符号

仪表类型	符 号	仪表类型	符 号
磁电式 1. 有机械反作用转矩		有磁屏电动式 1. 有机械反作用转矩	
2. 无机械反作用转矩		2. 无机械反作用转矩	
电磁式 1. 有机械反作用转矩		铁磁电动式 1. 有机械反作用转矩	
2. 无机械反作用转矩		2. 无机械反作用转矩	
电动式 1. 有机械反作用转矩		感应式 1. 有机械反作用转矩	
2. 无机械反作用转矩		2. 无机械反作用转矩	

2. 实验设备及仪表位置放置不当所产生的误差，如仪表该平放的没有平放，该直放的没有直放；在电工仪表近旁有较强的磁场或电场。

3. 实验方法不恰当而造成的，如用电压表和电流表借电压降来测量电阻时，如果没有计及接入仪表的影响，则电阻值中必将含有误差，而且电压表和电流表放置位置将影响误差的大小，还有量程接得不当也会使误差增大。

4. 偶然误差，例如在实验时电源电压的骤然变化引起的误差。

5. 实验者的粗心大意造成的误差，读错或记录错等。

从上面产生误差的种种原因来看，要减小误差的关键在于人，只要我们遵照毛主席的“要过细，要过细地工作，粗枝大叶不行，粗枝大叶往往搞错”的教导，实验测量时是可以减少误差的，或者掌握规律防止误差的发生，或者在发生之后按照已知规律加以更正。

既然测量伴随着误差，测量时就应该对误差有个定量的了解，以便对测量结果的可靠程度有所说明。通常都是用“相对误差”来说明这个问题的。例如被测电流的实际值是 I_x ，从电流表读得的数值是 I'_x ，则把电表读数和实际值的差值

$$\Delta I = I'_x - I_x \quad (1-1)$$

称为绝对误差，而把绝对误差占实际值的百分比定义为相对误差，用 β 来表示，即

$$\beta = \frac{\Delta I}{I_x} = \frac{I'_x - I_x}{I_x} 100\% \quad (1-2)$$

如果电表的最大量程为 I_m ，绝对误差与 I_m 之比的百分数则称为相对额定误差，用下式表示：

$$\beta_c = \frac{\Delta I}{I_m} 100\% \quad (1-3)$$

仪表的准确度，就是按仪表正常情况下使用时的相对额定误差的大小来分级的。所谓正常情况，是指周围煤质温度为 20°C ，没有外界磁场的影响以及安放位置符合规定的情况而言。

我国生产的电工仪表，根据其准确度共分七级：0.1级、0.2级、0.5级、1.0级、1.5级、2.5级和4.0级。这些等级表示仪表在正常情况下使用时，其相对额定误差分别不超过 $\pm 0.1\%$ 、 $\pm 0.2\%$ 、 $\pm 0.5\%$ 、 $\pm 1.0\%$ 、 $\pm 1.5\%$ 、 $\pm 2.5\%$ 、 $\pm 4.0\%$ 。0.1级和0.2级的仪表可供校正用，

其它可供一般实验和工程上使用。

某一仪表的相对额定误差对整个标尺度来说都是一样的，因此在接近刻度开始处可能产生的相对误差就比较些。例如最大量程为10安培的1.5级安培表，用它来测量2安培的电流时，由式(1-2)和(1-3)得知，可能产生的相对误差为

$$\beta = \frac{\Delta I}{I} 100\% = \frac{I_{\max} \beta_c}{I} = \frac{10 \times 1.5\%}{2} = 7.5\%$$

若用这个安培计来测量8安培的电流，则可能产生的相对误差为

$$\beta = \frac{10 \times 1.5\%}{8} = 1.9\%$$

由此可见，选用仪表时（或选用仪表量程时）应该尽可能不要用标度尺的开始部分测量。

不同型式的电工仪表，有的只适用于直流，有的只适用于交流，有的则交直流均能适用。通常在仪表上应该标出仪表名称、仪表类型、电流种类、准确度等级、规定放置方向等符号，除了在表1-1、1-2中已经列出的符号以外，其它常见的各种符号列于表1-3中。

表1-3 电工仪表表面的重要符号

符 号	意 义
—	直流
~	交流
~	交直流
3~或~	三相交流
~50	50周/秒
→	水平安放
↑	直立安放
∠60°	倾斜60°安放
⚡ 2KV	绝缘试验电压2000伏

§ 1—2 磁电式仪表及直流电压、电流的测量

1. 磁电式仪表

磁电式仪表（亦称永磁式仪表）是利用通有电流的线圈与永久磁铁的磁场之间的相互作用来产生转矩而使表针偏转的。遵照毛主席“内因是变化的根据”的教导，现在就从仪表的内部结构来分析它的测量原理。磁电式仪表的构造如图 1—1 所示。为了在空气隙中能产生均匀辐射的磁场，在马蹄形磁铁 1 的两个磁极之间装有固定的圆柱形的铁心 2。线圈 3 绕在矩形的铝框上，它们可以在磁极和铁心之间的空隙中转动，线圈中的电流是通过弹簧 4 流入的。

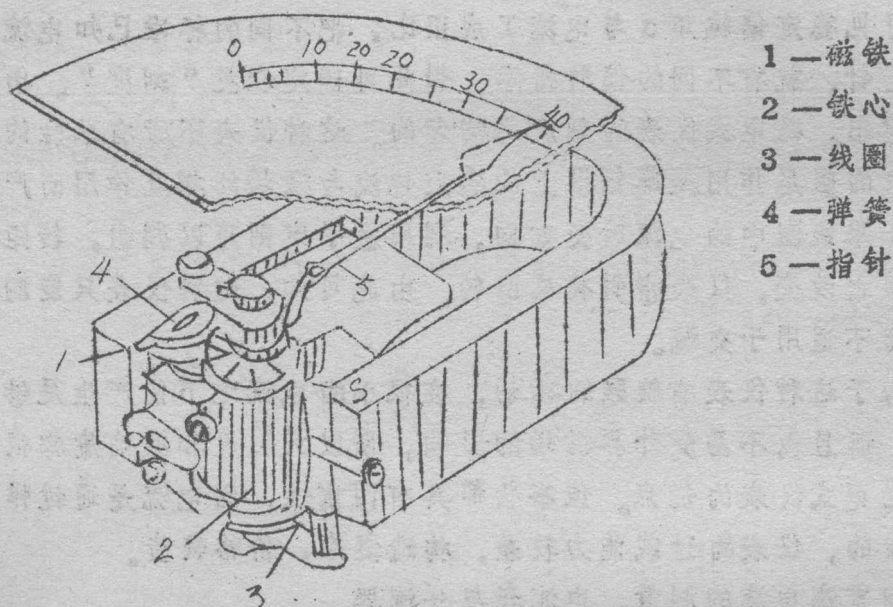


图 1—1

电流 I 流过线圈，根据左手定则，线圈的左右两部分导线将受到两个大小相等、方向相反的电磁力 F 的作用，这就形成了使线圈偏转的转动力矩（力学上把这样一对力的大小 F 和它们之间的距离的乘积叫做“力矩”。力矩越大，偏转的趋势就越大）。转动力矩和线圈中的电流成正比，即

$$M_t = K_t I \quad (1-4)$$

式中 K_t ，是常数，决定于表的结构（气隙的磁通密度，及线圈的高度、宽度和匝数）。

线圈中通电流产生转动力矩是矛盾的一个方面，矛盾的另一个方

面是可动部分的偏转使弹簧扭紧，这样就产生一个反抗转动的“反抗力矩”。这个力矩的大小同线圈偏转角成正比，即

$$M_2 = K_2 \alpha \quad (1-5)$$

式中 K_2 是一个和弹簧性能有关的常数。

当线圈偏转到反抗力矩与转动力矩相等时，运动达到暂时的平衡，表指针就指示出一个“稳定”的偏转角 α ，它决定于下式

$$K_1 I = K_2 \alpha$$

$$\alpha = \frac{K_1}{K_2} I = KI \quad (1-6)$$

可见稳定偏转角 α 与电流 I 成正比，把不同的标准已知电流通入线圈指针，就有不同的偏转指示，据此可确定表盘“刻度”。由式(1-6)看出，磁电式仪表的刻度是均匀的。这种仪表不带有单独的阻尼器，它的阻尼作用是靠铝框上的感应电流与磁场的相互作用而产生的。

如果线圈中的电流改变方向，利用左手定则可以判明，转矩的方向亦随之改变，仪表指针将反偏转。由此可知，这种仪表只能测量直流，而不适用于交流。

由于这种仪表有较强的磁场，在很小的电流之下能产生足够大的转矩，而且也不易受外界磁场的影响，所以灵敏度和准确度都很高。这是磁电式仪表的优点。但事物都具有两重性，因电流是通过弹簧引入线圈的，仪表的过载能力较差，构造复杂，价格较贵。

2 直流电流的测量，电流表与分流器

用来测量电流的仪表通称为电流表。根据所测电流值的大小的不同，电流表分为安培表、毫安表和微安表等。如果要测量小于 10^6 安的电流，应该采用检流计。

电流表可动部分的偏转角度的大小，由通过电流表测量机构中的电流大小而定。因此用电流表测量某一支路内的电流时，必须将电流表串联接入该支路中。如图 1—2 所示。电流表的内阻很小，可以避免由于电流表的接入而对该支路工作情况产生严重的影响。

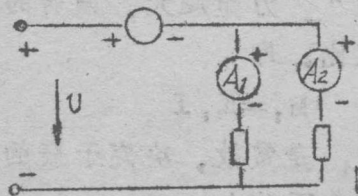


图 1—2 电流表的接法

仪表的测量机构所允许通过的电流一般是几十微安到几个毫安。当测量几十毫安以上的电流时，必须在表头上并联一个阻值较小的分流电阻（也叫分流器），使预测电流的大部分不进入表头而流过分流器。如图 1-3 所示。为了减小外界温度的影响，分流器都用电阻温度系数较小的锰铜制成。

分流器电阻大小可用下列方法决定。电流在表头和分流器之间的分配与对应的支路电阻成反比，即

$$\frac{I_m}{I_{fl}} = \frac{R_{fl}}{R_m} \quad (1-7)$$

式中 I_m 和 I_{fl} 分别为流经电流表和分流器的电流， R_m 和 R_{fl} 分别为电流表和分流器的电阻。

因为

$$I = I_m + I_{fl}$$

所以

$$\begin{aligned} R_{fl} &= \frac{I_m}{I - I_m} R_m = \frac{I_m}{\frac{1}{\frac{1}{I} - \frac{1}{I_m}}} R_m \\ &= \frac{1}{\frac{1}{I} - \frac{1}{I_m}} R_m = \frac{1}{K_{fl} - 1} R_m \end{aligned} \quad (1-8)$$

式中 $K_{fl} = \frac{I}{I_m}$ 它代表量程扩大的倍数，称为分流系数。倘若电流表中附有许多电阻不同的分流器，便可得到不同的量程。

多量程电流表都是采用如图 1-4 所示的环形分流电路，标有“+”的是公共端点，它和其余任一端点都组成一个量程。例如，当使用量程 I_2 时，分流器电阻是 $R_2 = r_2 + r_3$ ， r_3 则算入表头的内阻部分。自然，量程 $I_3 > I_2 > I_1$ 。

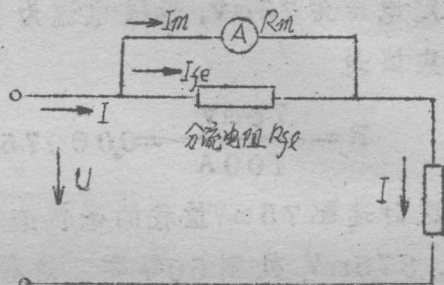


图 1-3 分流器与电流表测量机构的接法

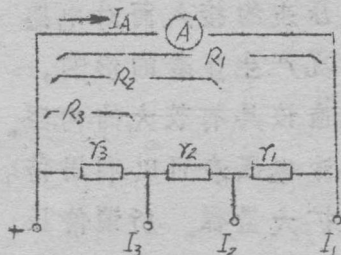


图 1-4 环形分流器

各分流电阻的计算见万用电表一节。

大量程电流表(几十安到几百安)分流器将产生很大的热量,就需要把它放在表外。使用大量程电流表时要注意它的分流器是内附还是需要外加。

外附分流器一般作成下述“标准”形式:当量限电流通过分流器时将产生“额定”的电压降(如50、75或150mV等),则用相应量程的毫伏表测量分流器上的电压降即可反映被测电流的数值。例如额定电压为75mV,量限电流为100A的分流器(图1-5),它的电阻值应该是

$$R = \frac{75\text{mV}}{100\text{A}} = 0.00075\Omega$$

这时选配75mV量程的毫伏表改按安培来刻度,即在75mV处刻100,375mV处刻50等等。这种方法对分流器的生产和使用都非常有利。外附分流器备有两对接触端:C—C称为电流端,是大块铜接线柱以便引出大电流;P—P称电压端,用来接入毫伏表。

3. 直流电压的测量, 电压表和倍压器

用来测量电压的仪表通称为电压表。根据所测电压值大小的不同,

电压表分为伏特表、毫伏表、千伏表等几种。在测量电压时,电压表应该并联接在被测电路的两端。如图1-6所示。这时通过仪表的电流正比于电压,因而仪表可动部分偏转角大小能直接反应被测电压的大小。为了防止由于电压表的接入而对电路工作情况产生显著的影响,电压表应该具有较大的内阻。

直流电压表可以利用倍压器来扩大量程。所谓倍压器就是与仪表测量机构串联的高值电阻,如图(1-7所示)。

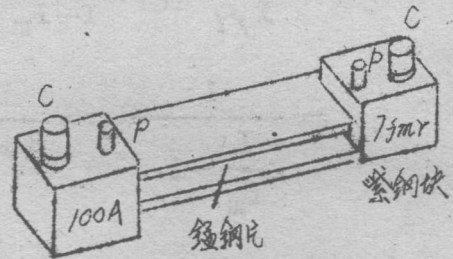


图 1-5 分流器

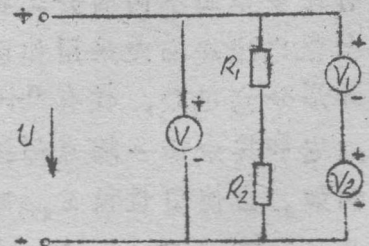


图 1-6 电压表的接法

阻值可用下列方法决定。

设待测电压为 U ，电压表原有量程为 U_V ，欲扩大的倍数

即倍压系数 K_{by} ， $K_{by} = \frac{U}{U_V}$ 。

由于电压表测量机构所容许通过的最大电流 I_V 是一定的，

所以接入倍压器 R_{by} 之后，同样地必须将电流限制到这一数值。由图 1—6 可知

$$I_V = \frac{U_V}{R_V} = \frac{U}{R_V + R_{by}} \quad (1-9)$$

式中 R_V 是电压表本身的电阻。由这个方程式求得倍压器的电阻

$$R_{by} = \frac{U}{U_V} R_V - R_V = (K_{by} - 1) R_V \quad (1-10)$$

一个电压表若附有许多电阻不同的倍压器，就可得到各种不同的量程。

电压表的内阻大小不仅与量程有关，主要还决定于表头的灵敏度。表头越灵敏，满偏电流 I_V 就越小，形成同量程的电压表时内阻则越高。为了比较和选用电压表，通常用总内阻被量程除得的“每伏欧姆数”来说明这种内阻性能。例如用 $50\mu A$ 的表头作为量程为 $10V$ 的电压表时，内阻为 $200K\Omega$ ，相当于 $20K\Omega/V$ 。如改用 $1mA$ 的表头，则 $10V$ 量程的内阻为 $10K\Omega$ ，相当于 $1K\Omega/V$ 。选用高“ Ω/V ”的电压表进行测量，对电子管电路与晶体管电路特别重要。

磁电式电压表的内阻可高达 $50K\Omega/V$ ，一般也作到几千欧/伏。

§ 1—3 电磁式仪表及交流电压电流的测量

上一节讲的磁电式仪表只能用来测量直流电压、电流，而实践中碰得最多的是测量交流的问题。对于交流测量，它还具有区别于直流测量的一些特点。例如，既然测的是交流，就有一个测量什么值，瞬时值、最大值、有效值或平均值的问题。

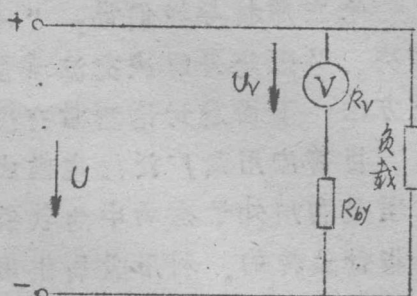
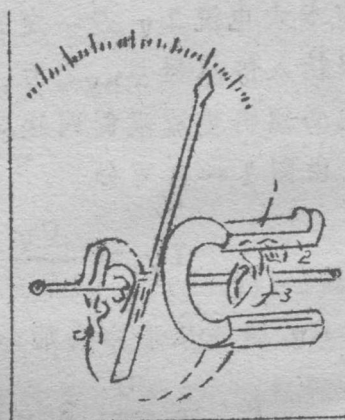


图 1—7 倍压器和电压表测量机构的接法

毛主席教导我们说：“不同质的矛盾，只有用不同质的方法才解决。”因此要解决交流测量的问题，就必须采用新型式的测量机或方法，下面就讨论测量交流电流电压的常用仪表——电磁式仪表。

目前应用最广泛的电磁式仪表的构造如图 1—8 所示。它的原理是利用处于磁场中的软铁片受磁化后的被吸引或推斥作用而使表指针偏转的。利用吸引作用的称吸入式，现在已很少生产。利用推斥作用的称推斥式（图 1—8 就是推斥式）固定部分是线圈 1，它的内壁上有一个固定铁片 2；装在转轴上的有一个可动铁片 3，以及弹簧指针等。被测电流 i 通过线圈时，两铁片同时被磁化，由于它们的磁化极性相同，所以互斥而产生转动力矩。不管电流的方向如何，两铁片磁化的极性总是一致的。因此可动铁片受到的总是推斥力，而转动力矩的方向将保持不变。所以这种仪表可以用来测量交流。



- a — 固定线圈
- b — 铁片
- c — 螺旋弹簧
- d — 空气阻尼器

图 1—8 电磁式仪表

为了更好地理解电磁式仪表的性能，还需要对它的转动力矩进一步作些定量的分析。从上面的分析讨论不难看出，转动力矩的大小与两个铁片的磁化强度的乘积成正比，而每个铁片的磁化强度都和线圈磁场的强弱也就是同流过线圈的电流 i 的大小成正比。因此转动力矩应该正比于被测电流的平方值，即

$$m, \propto i^2$$

通过线圈的电流是交流时， m 也随时间作脉动的变化。（不过它只随 i 改变而改变大小，而不改变方向，由于可动部分的惯性较大，跟不上力矩的变化，所以它的偏转将决定于瞬时力矩 m 的平均值，即平均转动力矩

$$M_1 = \frac{1}{T} \int_0^T m_1 dt \propto I^2 \quad M_1 = K_1 I^2$$

式中 I 是被测电流的有效值。

弹簧产生的反抗转矩 $M_2 = K_2 \alpha$

在 $M_1 = M_2$ 的平衡条件下，指针达到稳定偏转

$$\alpha = \frac{K_1}{K_2} I^2 = K I^2 \quad (1-11)$$

式中 K 是比例常数，此式说明，偏转角度的大小与流经线圈的电流有效值的平方成正比，因此这种仪表的刻度是不均匀的。

电磁式的电流表一般不需要其它的“分流”装置。为了使测量机构得到足够强的磁化磁场，这种机构一般设计采用 200~300 安匝的满偏磁化力，即形成 300 安量程的电流表时，固定线圈只有一匝，形成 5 安量程时约用 40~60 匝，形成 30 毫安量程时则要用 7000 ~ 10000 匝的固定线圈。由于电流表内阻抗不能太高，所以电磁式电流表的最低量程只作到几十毫安。测量大的交流电流时使用电流互感器。其接法如图 1—9 所示。电流互感器的付方通常做成 5 安培。使用时，付方要接地，并且不能开路。

电流小于 50 安的电流互感器的原绕组，通常有几匝线圈，而电流超过 50 安的电流互感器，它们的原绕组通常就只是一根穿过铁芯窗口的条形导体。图 1—10 的钳形安培表就是这种穿过式互感器的变形。它用于测量低电压下的 10 到 1000 安的电流。钳的磁路由两个强力弹簧压紧的 U 形铁芯组成。铁芯用硅钢片制成，压紧手把钳打开而将需要测量的载流导体放入窗孔。这根导线就作为原绕组。付绕组装在铁芯上，并与装在钳上面的安培表接通。应该注意，如果钳上的安培表是附有整流器的磁电式仪表，那只能测量正弦交流电流。而象可控硅

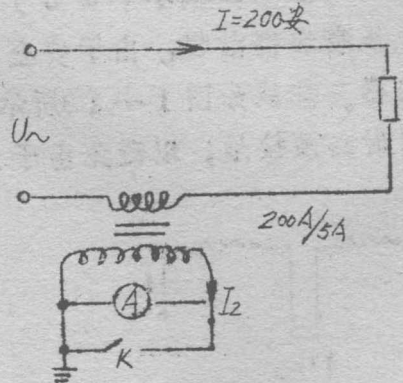


图 1—9 用电流互感器测量大电流

电路，由于电流是非正弦的，因此要用钳上是电磁式的钳形仪表。

电磁式电压表有时作成双量程式，是把线圈分成相等的两段绕制，如果这两部分线圈串联形成的量程 $I = 2.5$ 安，则将它们改接成并联就得到 5 安的量程（见图 1—11）。

电磁式电压表也是在测量机构上串联倍压器电阻而形成的。如图 1—12 所示。

电压表接上被测电压 U 后，仪表中的电流为（见图 1—11）

$$I = \frac{U}{\sqrt{(R+r)^2 + (\omega L)^2}}$$

(1—12)

式中 L 、 r 分别是线圈本身的电感与电阻。可见被测电压的频率改变时， I 跟着改变。就是说，用这种电压表测量不同频率的相等电压时，读数也不完全一样，这就叫“频率误差”。为了减小频率误差，就要求串联足够的电阻 R 以减小 $(\omega L)^2$ ，在式 (1—12) 根号中所占的百分比。电压表的高量程，出于安全考虑，只作到 750 伏，再高时采用电压互感器。接线如图 1—13 所示。电压互感器付方一般都做成 100 伏，使用时必须接地，以避免由于绝缘损坏而出现高电位。

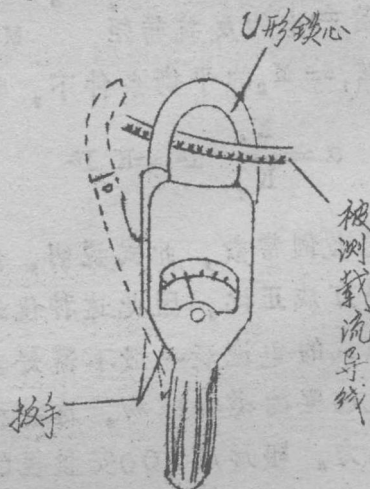


图 1—10 钳形电流表

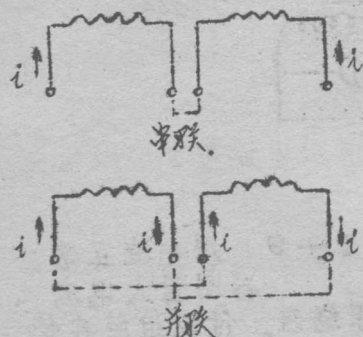


图 1—11 双量程电流表线圈的串并联接法

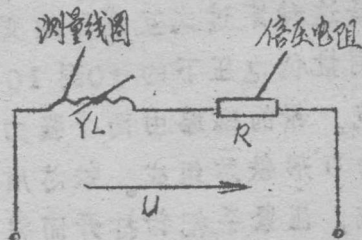


图 1—12 电磁式电压表的电路

电磁式仪表结构简单，价格低廉，而且由于载流部分是不转动的，所以坚固耐用，能承受过载。但是电磁式仪表的准确度不高，受外磁场的影响严重（由于它的线圈磁场较弱，所以很容易受外界磁场的干扰），使用时要注意远离外磁场。电磁式仪表一般适用于工频交流。频率更高时，频率误差较大。



图 1—13 用电压互感器测量交流高电压

§ 1—4 电动式仪表及功率的测量

磁电式仪表中的永久磁铁若用固定的通有电流的线圈来代替，这就成为电动式仪表，因而这种仪表有两组线圈：一组是用来产生磁场的固定线圈 1，它通常又由两个线圈构成；另一组是装在固定线圈内的可动线圈 2。电动式仪表的结构如图 1—14 所示。

当直流电流 I_1 流经线圈时，在线圈内产生恒定磁场。由于线圈中没有铁心，磁感应强度 B 与磁场强度 H 成正比，也就是与电流 I_1 成正比。因此在可动线圈中有直流电流 I_2 通过时，作用于可动部分的转矩 $M_1 = K B I_2 = K_1 I_1 I_2$ ，式中 K 和 K_1 是比例常数。这种仪表的反作用转矩也是由弹簧产生的，它与偏转角度成正比，即

$$M_2 = K_2 \alpha$$

因之在平衡状态下

$$\alpha = \frac{K_1}{K_2} I_1 I_2 = K I_1 I_2 \quad (1-13)$$

式中 $K = \frac{K_1}{K_2}$

由此可知，电流 I_1 和 I_2 决定于被测量的大小，那末根据偏转角度 α 的大小便可以间接地得

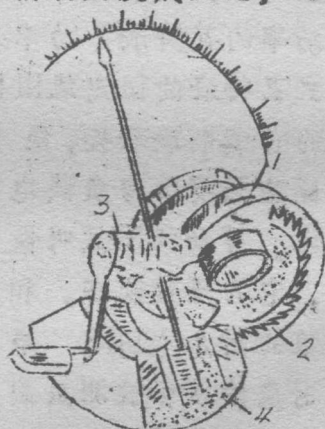


图 1—14 电动式仪表

知被测量的数值。

倘若流经线圈的电流是交变电流，因为产生磁场的电流和可动线圈中的电流保持一定相位差，而且以相同的频率交变，所以指针偏转的方向并不改变。也就是说，电动式仪表既能测量直流，又能测量交流。

在测量交流时，可动部分转矩的瞬时值决定于两线圈中的电流瞬时值，即 $m = K, i_1, i_2$ 。很显然，和电磁式仪表中讨论的一样，转矩 m 的大小是随时间脉动的。但是由于其脉动频率较高及可动部分有机械惯性，所以偏转角度只随转矩的平均值而定。

$$\text{设 } i_1 = I_1 m \sin \omega t$$

$$i_2 = I_2 m \sin (\omega t - \varphi)$$

则可动部分转矩的平均值为

$$\begin{aligned} M_1 &= \frac{K_1}{T} \int_0^T i_1 i_2 dt = \frac{K_1}{T} \int_0^T I_1 m \sin \omega t I_2 m \sin (\omega t - \varphi) dt \\ &= \frac{K_1}{T} \int_0^T \frac{I_1 m I_2 m}{2} (\cos \varphi - \cos (2\omega t - \varphi)) dt = K_1 I_1 I_2 \cos \varphi \end{aligned}$$

因为反作用转矩 $M_2 = K_2 \alpha$ ，所以在平衡条件下即 $M_1 = M_2$ 时

$$\alpha = \frac{K_1}{K_2} I_1 I_2 \cos \varphi = K I_1 I_2 \cos \varphi \quad (1-14)$$

由此可知，在测量交流时，仪表的偏转角度与线圈中的电流有效值和两电流相位差的余弦的乘积成正比。因此只要将固定线圈和可动线圈适应地联接起来，电动式仪表就可以制成交直流两用的电流表、电压表及测量功率的瓦特表（功率表）。

电动式瓦特表的固定线圈也叫做电流线圈，它的匝数较少，测量时与被测的负载串联联接，线圈内的磁感应强度 B 与负载电流 i 成正比。可动线圈又叫做电压线圈，它的匝数较多，和一个高阻值的附加电阻 R 串联，测量时应跨接于被测负载的两端（和负载并联）。

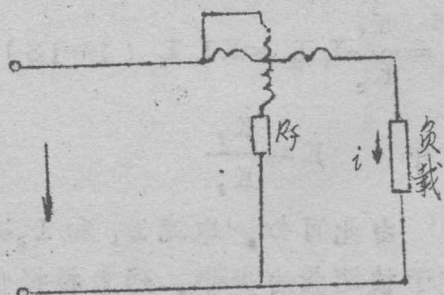


图 1-15 瓦特表的接法