

实验中常用仪表仪器的使用说明

电工实验室

南京航空学院

1981. 2.

电 工 实 验 室 规 则

为了保障人身安全和爱护仪器，特将电工实验室有关事项列于下，希望切实遵守：

1. 实验前必须充分理解实验理论部分，否则无法顺利进行实验，如有困难之处可要求教师讲解。
2. 在使用仪器、仪表之前，一定要将使用方法看懂，方可动手使用，万不可随意启动开关，以免发生事故。
3. 线路接好后，须先经教师检查，才能接上电源，电路改接之后仍要经教师检查。
4. 要改变电路时，必须先把电源开关断开。
5. 闭合电路或接上电源时，必须事先通知同组同学。
6. 当电源接通后，要集中精力观察仪器、仪表有无异常声音、火花、气味、冒烟、发热等现象，如发现异常现象应立即断开电源，请教师检查。（对电机、变压器等电工设备更应注意）。
7. 接通电源后，不可用手去触摸任何裸露的金属部分。
8. 接通电源后，培养用单手操作的习惯，不得用双手同时操作。（特别是交流电部分）。
9. 使用仪表要注意表上的符号，以及仪表的量程。
10. 实验室内要保持安静，认真严肃，不准乱摸与本实验无关的仪器设备。
11. 做完实验后，应将所用的全部仪器、元件、导线等整理好，保持在原来位置，同时在实验过程中不要用别组的仪器工具，如用时需经教师同意，用完归还原处。
12. 在实验过程中，如有损坏仪器的，要向教师报告，并登记，酌情处理。

实验中常用仪表、仪器的使用说明

第一部分 电测量仪表及设备

按读数的显示方法不同,电表可分为数字式和指示式两大类。数字式电表用了电子技术和计算技术的最新成果而将测量结果直接以数字形式显示出来,如PZ4型数字式电压表,它可以以四位数字直接读出所测的电压。数字式电表具有数字显示、高准确度,高灵敏度、高测量速度等优点,是现代电表的重要发展方向,但它们结构复杂,价格昂贵,体积也比较大,所以目前使用还不太普遍,目前大多数实验室大量使用的还是指示仪表,又称偏转式电表,也就是靠指针在刻度尺上的偏转位置来读数的电表,下面我们首先摘登仪表上的标记符号然后谈谈这类指示仪表,并按被测量结合其工作原理来区分、逐节予以介绍。

仪表的标记

仪表种类		刻度盘上符号	
		无屏蔽	带磁屏蔽
磁电式仪表	有独立的反作用力矩		
	有不独立的反作用力矩(流比计)		
	热电式仪表		—
	整流式仪表		—
	电子管式仪表		—
电动式仪表	有独立的反作用力矩		
	有不独立的反作用力矩(流比计)		
铁磁电动式仪表	有独立的反作用力矩		
	有不独立的反作用力矩(流比计)		
电磁式仪表	有独立的反作用力矩		
	有不独立的反作用力矩(流比计)		

标 记	说 明
—	直流
~	交流
⎵	直流、交流两用
	仪表绝缘受过2千伏电压试验
I	1级防外界磁场,允许产生误差0.5%
II	2级防外界磁场,允许产生误差1%
III	3级防外界磁场,允许产生误差2.5%
IV	4级防外界磁场,允许产生误差5%
A	工作环境0~140℃,湿度85%以下
B	工作环境-20~+50℃,湿度85%以下
C	工作环境-40~+60℃,湿度98%以下

标 记	说 明
0.1	仪表等级为 0.1 级, 误差在刻度尺量程的 0.1% 在内
0.2	仪表等级为 0.2 级, 意义同上
0.5	仪表等级为 0.5 级, 意义同上

标 记	说 明
	水平装置
	垂直装置
	30° 倾斜装置

一、测量直流电压和直流电流常用的仪表

在实际工作中, 常常需要通过测量来确定电路中电压和电流的大小。测量电气设备电路中的直流电压和直流电流常用的是磁电式仪表, 它都利用带电导体处于磁场中受到电磁力矩使可动部分发生转动的原理而构成的。现将磁电式仪表的原理及其使用方法简述如下:

一、磁电式测量机构的原理:

1. 基本结构

这种仪表的静止部分可以从图 1—1(a) 与 (b) 看到, 主要包括: 1. 永久磁铁, 2. 极靴, 3. 铁芯, 6. 轴承, 7. 引杆, 8. 调零点装置。由图 1—1(c) 可见, 极靴与铁芯的作用是为了能在气隙中得到辐射方向的均匀磁场 (磁感应强度为 B)。仪表的可动部分包括用铝片冲成的线圈框 (从图 1—1(b) 上可以看到) 与其上的线圈 4、指针、轴与弹簧 (即游丝) 5。弹簧担负着将电流引入可动线圈的作用, 它还有一个主要的作用在原理部分介绍。

磁电式仪表的符号如图 1—1(d)。

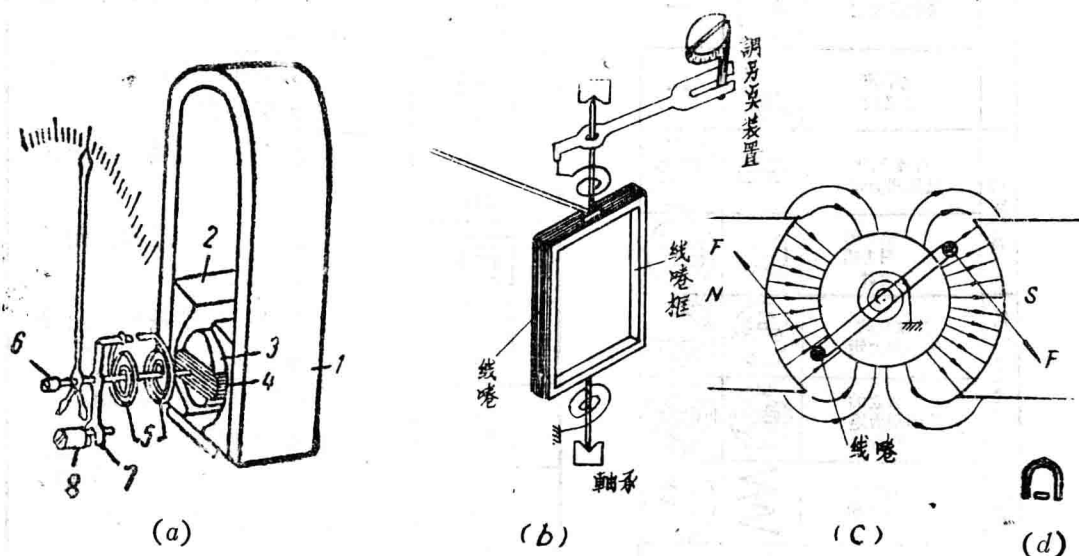


图 1—1

2. 作用原理

永久磁铁在气隙中产生磁场，当可动线圈中通过电流 I 时，线圈受到作用力而产生力矩，其大小可由下面式子表示：

$$\text{作用力} \quad F = B l I W$$

$$\text{运转力矩} \quad M = F b = B l W I b = K \cdot I$$

式中 B 为气隙中的磁感应强度， l 为线圈处于磁场中的有效长度， I 是线圈中流过的电流， W 是线圈匝数， b 为线圈的宽度，对于一个仪表， B 、 l 、 W 、 b 均已固定，故 $K = B l W b$ 是常数。

但是，仅有这一运转力矩，仪表还不能指示出被测量的大小，因为不论多大电流流入线圈，所产生的力矩都可能使线圈一直偏转到最大刻度。必须使仪表指针的偏转角随着线圈内通过的电流而改变，这样便能指示出被测量的大小了。欲达这一目的，必须有一个反抗力矩（与运转力矩方向相反）施于线圈，而且它的大小要随着线圈偏转角 α 增大而增大。因为当运转力矩和反抗力矩相等时，指针平衡在某一位置。当运转力矩增加时，原来的平衡就被破坏了。指针偏转角度加大（因为这时 $M > M_{\text{反}}$ ），但反抗力矩是随着偏转角的加大而增大的，故当偏转角 α 大至某一角度时，反抗力矩与运转力矩相等，指针就平衡在这一新的位置上。可见要使仪表指针的偏转角能反映出被测量的大小，反抗力矩的存在与否，也是一个关键问题。

上面述及的反抗力矩，是由弹簧（即游丝）来担任的，因为弹簧的反抗力矩是与偏转角 α 成正比的，即

$$M_{\text{反}} = D \alpha$$

式中 D 为弹簧系数， α 为线圈（亦即弹簧）的偏转角。

下面我们再来看一下偏转角 α 与被测量 I 的关系。

当指针停止转动而达到平衡时，即力矩平衡。

$$M = M_{\text{反}}$$

因为 $M = K I$ ， $M_{\text{反}} = D \alpha$ ，代入上式

$$K I = D \alpha$$

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

对于一个仪表， K 与 D 均为常数，所以 $S_I \left(= \frac{K}{D} \right)$ 也是常数。可见线圈偏转角度 α 与其中流过的电流 I 成正比，这就是所谓磁电式测量机构测电流的基本原理。

二、仪表的形成：

磁电式测量机构所测电流大小一般在微安或毫安数量级。所以欲测更大电流，就需在测量机构上加接分流电阻（称分流器），才能构成电流表。测电压时，就需要与测量机构串联一附加电阻（称倍率器）才能构成电压表。分流电阻，附加电阻的计算方法见有关电工仪表书籍。

三、正确使用:

1. 测量电压时, 应将电压表并联在被测量的电路两端。表上标有“+”号的接线柱应接电位高的一端, 标有“-”号的接线柱, 则接在电位低的一端。如果被测电压的“+”、“-”极性不知道, 可先用大量程去试一下, 若指针正方向偏转, 说明是按上述方式连接的, 这样, 被测电压极性就找出了。

测量电流时则应将电流表串联接入被测量的电路。电流表上的两个接线柱标有“+”和“-”, 连接时, 应使电流从标有“+”号的接线柱流入, 而从标有“-”号的接线柱流出。使用电流表时, 绝不能与电路并联, 否则将因电流过大而烧毁。

2. 所选的仪表量程要略大于被测之量, 被测量最好约为仪表满刻度的 $2/3$ 左右。以减小测量中的误差。当被测量大小不知道时, 可先用大量程仪表进行预测, 然后再改接到适合于被测量之量程。

3. 仪表有规定为平放或竖放使用的, 应按照它的规定位置放置。

4. 读数时眼睛应正对指针的上方。如果刻度盘下有镜子, 则眼睛正对指针时, 应使指针与其镜中的影子重合。

二、测量交流电压和交流电流常用的仪表

测交流电的电流、电压表大多采用一种排斥型电磁式测量机构。

一、电磁式测量机构的原理:

它的主要结构如图 2—1 所示, 它具有一个固定线圈 1, 一个固定于线圈内壁的静铁片 2, 一个固定于转轴的动铁片 3。当线圈中通过电流后, 线圈内即有磁场存在, 这磁场将静铁片和动铁片同时磁化, 由于静、动二铁片放置在磁场中同一位置, 因而他们具有相同极性, 故相互排斥, 产生了运转力矩。

如果线圈中通过的是交流电, 那么磁场是交变的, 静、动二铁片极性也是交变的, 但二者同一端的极性总是一致的, 所以二者总是存在着排斥力。运转力矩方向不变, 因而指针还是朝一方向偏转的。

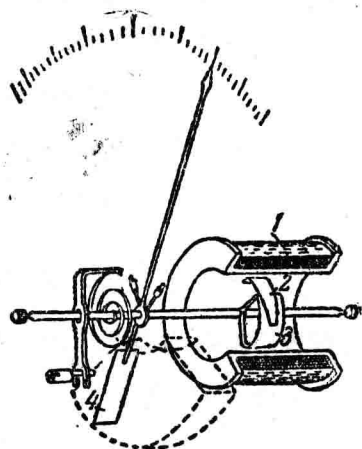
电磁式测量机构的运转力矩是正比于线圈中电流有效值的平方。简证如下:

因为在某一瞬间的力矩 $m \propto B_2 B_3$ 。这里 B_2 、 B_3 分别为静片、动片被磁化后的磁感应强度。

而 $B_2 \propto i$, $B_3 \propto i$ 。 i 为线圈中电流的瞬时值。

$$\therefore m \propto i^2$$

因为 i 是交变的, 故每一瞬间的力矩也不相同, 由于转动部分的惯性, 转动部分 (包括指



1. 固定线圈 2. 静铁片
3. 动铁片

图 2—1

针)的偏转决定于运转力矩的平均值。所以它的转动力矩是:

$$M = \left(\frac{1}{T} \int_0^T m dt \right) \propto \frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt = I^2$$

$$\therefore M \propto I^2$$

设 K 为比例系数,它与线圈匝数,静片的形状,相对位置有关。

$$M = KI^2$$

则电磁式仪表中的反抗力矩 $M_{反}$ 也是由弹簧产生, $M_{反} = D\alpha$ 。(在电磁式仪表中电流不流经弹簧,弹簧仅产生反抗力矩)所以转动部分达到平衡。

$$M = M_{反}$$

$$KI^2 = D\alpha$$

$$\therefore \alpha = \frac{K}{D} I^2$$

可见这种仪表的刻度不均匀。将动片和静片做成特定形状,可以使刻度后半段接近均匀。

二、仪表的形式:

电磁式电压表是在电磁式测量机构上串接附加电阻形成。与直流电压表的形成差不多。

电磁式电流表,实验室使用的均为双量程。不是采用分流法,而是用两组线圈串联或并联来改换量程。例如实验室常用的1安与2安双量程电流表,表上有六只接线柱,如图2—2所示, AA' 与 BB' 为两组线圈, G_1G_2 是与外电路连接的两接线柱,没有这两个接线柱,直接接 AB' 两个接线柱也一样的。

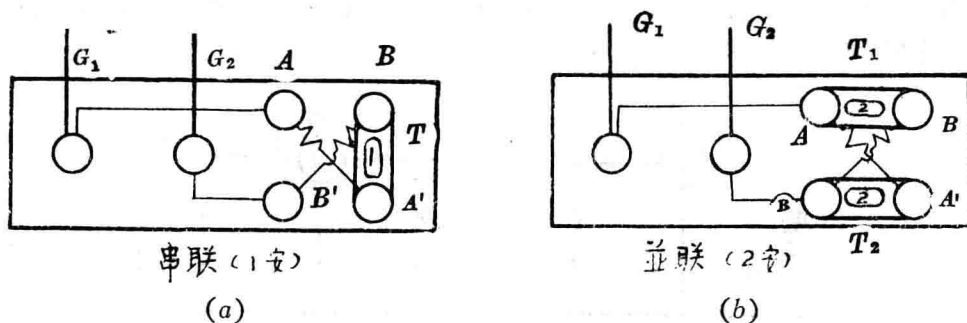


图 2—2

当连接片 T 把 A' 与 B 连接时,如图2—2(a),这时两线圈串联,表的量程为1A。当连接片 T_1 和 T_2 分别将 A 与 B 、 A' 与 B' 连接时,如图2—2(b),这时两线圈并联,表的量程为2A。

这种表在设计时,是使流过两线圈的电流均为1A时,指针达满刻度。当两线圈串联时,每线圈电流与外电路一致,当电路电流达1A时,两线圈电流也是1A,指针指在满刻度位置,所以,这时表的量程为1A。当两线圈并联时,欲使每线圈电流达1A,则外电路需流入2A,所以这时的量程为2A。

三、正确使用

1. 电磁式交流电压表及电流表接入被测电路的原则与直流相同,即电压表与被测电路并联,电流表则串入被测电路,但没有正负极性问题的。

2. 量程选择与读数方法等与直流仪表同。

3. 电磁式仪表本身磁场较弱，受外磁场的影响大。故在做实验时，应将仪表远离电感线圈等磁场较强的元件，以减小测量误差。

三、瓦 特 计 的 使 用

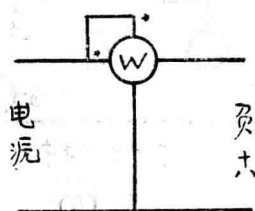
瓦特计是用来测量电路中平均功率的仪表。图 3—1 表示一种瓦特计的原理图。它有两个互不连接的工作线圈，其中的一个内阻很小，使用时与负载串联，叫做电流线圈；另一个内阻很大，（因有附加电阻）使用时与负载并联，叫做电压线圈。

瓦特计电流量程的扩大是利用电流线圈的分段并变换它们的接法来获得的。一般瓦特计的电流线圈是由两个线圈构成的，可借助表盘上的换接装置使这两个线圈串联或并联。以改变容许通过的电流的大小。并联时的容许电流为串联时的两倍，和前面介绍的电磁式电流表相似。瓦特计电压量程的扩大和伏特计一样，是用附加电阻来实现的。

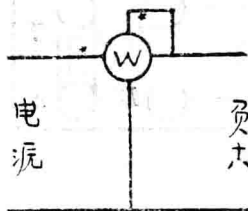
使用瓦特计时，必须注意四点：

1. 接线时，电流线圈要与负载串联，电压线圈与负载并联，不能接错。

2. 电压线圈与电流线圈的接线柱中各有一个标记成“*”或“±”（有些瓦特计标有 E 、 I ）的符号，称为极性端。接线时把极性端连接在一起。或者按表上的电路图连接，如图 3—1 所示。如瓦特计指针反转，以致无法读数时，只准把电流线圈端钮换接，而不准换接电压线圈的端钮。



(a)



(b) 125型低功率因数
瓦特计的接线图

图 3—1

3. 电流线圈允许通过的最大电流以及电压线圈跨接的最大电压都有规定，不能超过。测量时，应同时接上安培计和伏特计以观察电路的电流与电压。

4. 瓦特计在测量功率时所指示的功率大小，等于指针所指的分格数（刻度）乘上仪表的常数 C ，即：实际瓦数 = $C \times$ 指针刻度。

普通瓦特计的常数

$$C = \frac{U_N I_N}{\alpha_m} [\text{瓦/分格}]$$

式中 U_N 和 I_N 是瓦特计所选量程的电流和电压的额定值， α_m 是刻度盘的全部分格数。

低功率因数瓦特计常数是:

$$C = \frac{U_N I_N \cos \varphi_N}{\alpha_m} [\text{瓦/分格}]$$

式中 $\cos \varphi_N$ 的值以及 U_N 和 I_N 的值都在仪表上标明。例如 125 型瓦特计注明 $\cos \varphi_N$ 为 0.2。

以 125 型低功率因数瓦特计为例，根据不同的电压电流量程，其常数 C 的数值就不同，见表 3。该仪表满量程处标为 150 格，而测量的实际瓦数必须根据选用的电压电流量程乘以常数 C ，例如电压量程用 150V，电流量程用 2.5A，读数为 100 格时，则实际瓦数 = 读数 $\times C = 100 \times 0.5 = 50$ 瓦。

表 3 125 型低功率因数瓦特计常数

电流量程	电压量程	常数 C
2.5A	150V	0.5
5A	150V	1
2.5A	300V	1
5A	300V	2

四、三用表的原理和使用

三用表是实验室和生产上经常应用的仪表，它用来测量电流、电压和电阻。达到一表多用的目的，并且藉转换开关可以改变量程，所以用起来非常方便。

三用表的主要组成部分是磁电式表头（即测量机构）、作为分压、分流用的电阻器，改变量程及选择被测量的转换开关，和测量电阻时所需要的电源（干电池），磁电式表头的工作原理已在第一节介绍过，今首先将三用表的原理性电路解释如下：

一、磁电式表头

用于三用表的磁电式表头是一只直流微安表。微安表的量程代表该表的灵敏度，量程愈小，表示灵敏度愈高。例如有两只量程各为 $50\mu A$ ， $100\mu A$ 的微安表，则 $50\mu A$ 的灵敏度较高。因为使指针达到相同的偏转角度，灵敏度愈高所需要的电流应愈小。

三用表的质量关键在于表头，表头的灵敏度愈高，则质量亦随之增高，例如 MF—16 型三用表表头的灵敏度为 $157\mu A$ ，作为电压表时的灵敏度为 $500\mu A$ ($2000\Omega/V$)。MF—10 型直流电流的最低量程挡为 $10\mu A$ ，作为电压表时的灵敏度为 $10\mu A$ ($100000\Omega/V$)。电压表的灵敏度愈高。则电压表的内阻愈大，所取用的电流就小，电压表接入电路时的影响也小，测量结果愈准确。

二、直流电流

如果一只量程为 $200\mu A$ 的微安表作为三用表的表头，现要制成 $10mA$ 的毫安表，必须在表头上加接分流器（分流电阻），使被测电流在 $10mA$ 时，通过表头的电流恰为 $200\mu A$ ，其余大部分被测电流都被分流。分流器的接法应与表头并联，如图 4—1。设表头的灵敏度为 I_g ，内阻为 R_g ，分流器的电阻为 R_s ，现欲将它的电

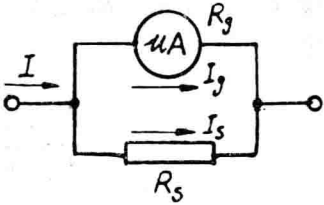


图 4—1

量程扩大到 I ，求所需分流电阻 R_s 。

由图 4—1，

$$I_g R_g = I_s R_s = (I - I_g) R_s$$

故

$$R_s = \frac{I_g R_g}{I - I_g}$$

例1. 有一只微安表的内阻 $R_g = 800\Omega$ ，量程为 $I_g = 200\mu A$ ，现要制成量程为 $500mA$ 的毫安表，求所需的分流电阻。

解：由上式分流电阻

$$\begin{aligned} R_s &= \frac{I_g R_g}{I - I_g} = \frac{200 \times 10^{-6} \times 800}{500 \times 10^{-3} - 200 \times 10^{-6}} \\ &= 0.32\Omega \end{aligned}$$

三用表都是具有多个量程的，例如测量直流电流时具有 $10mA$ ， $50mA$ 两挡量程。对于多量程的电流表就要有不同的分流器。一般均采用闭路式分流器（环形分流器），如图 4—2 为具有两个量程 I_1 及 I_2 的电流表。量程 I_1 电流表的分流电阻为 $R_1 + R_2$ ，测量时，接在 a 、 c 两端。量程 I_2 ($I_2 > I_1$) 电流表接在 b 、 c 两端，它的分流电阻为 R_1 ，同时表头支路的电阻增加了 R_2 。环形分流器的电阻 R_1 及 R_2 的计算如下：

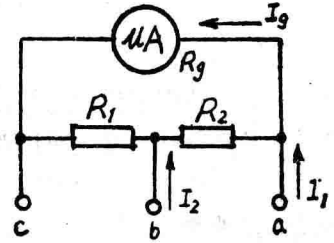


图 4—2

计算的步骤首先从量程最小的一挡开始，确定环形分流器所需的分流电阻 $R_s = R_1 + R_2$ ，然后再计算量程较大一挡的分流电阻。

图 4—2 中量程 I_1 是最小的一挡。由下列关系式：

$$(I_1 - I_g)(R_1 + R_2) = I_g R_g$$

故

$$R_s = R_1 + R_2 = \frac{I_g R_g}{I_1 - I_g}$$

再计算量程 I_2 一挡的分流电阻 R_1 ，此时 R_2 与 R_g 串联。

通过表头支路的电流 I_g 为

$$I_g = I_2 \frac{R_1}{R_1 + R_2 + R_g} = I_2 \frac{R_1}{R_0}$$

式中 $R_0 = R_1 + R_2 + R_g$ 是由表头和环路分流器 R_s 所组成的回路中的总电阻，称为环路电阻。由上式得

$$\begin{aligned} R_1 &= \frac{I_g}{I_2} R_0 = \frac{I_g}{I_2} (R_g + R_1 + R_2) = \frac{I_g}{I_2} (R_g + R_s) \\ R_2 &= R_s - R_1 \end{aligned}$$

而

所以环形分流器的总电阻 R_s 及环路电阻 R_0 算出后就可以算出多量程电流表各挡的分

倍率器)。

设表头的电流为 I_g ，内阻为 R_g ，今欲将该表用来测量电压，其量程为 U 。则所需的分压电阻 R 可由下式计算出：

$$U - I_g R = U_g = I_g R_g \quad \text{故} \quad R = \frac{U - I_g \cdot R_g}{I_g} = \frac{U}{I_g} - R_g$$

如图电压表的表头是一只具有分流器的微安表，例如电压表的表头为 $1mA$ ，它是由 $I_g = 200\mu A$ ， $R_g = 1000\Omega$ 的微安表与分流器 $R_s = 250\Omega$ 所组成的。如图 4—5。

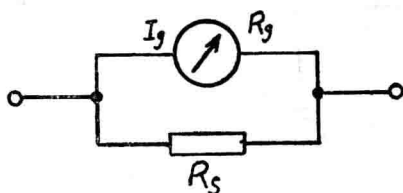


图 4—5

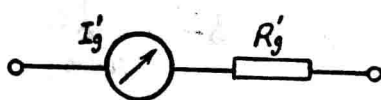


图 4—6

则这只电压表的表头的电流为 $I'_g = 1mA$ ，而内阻为 $R'_g = \frac{R_g \cdot R_s}{R_g + R_s} = \frac{1000 \times 250}{1000 + 250} = 200\Omega$ ，所以电压表表头可以用如图 4—6 所示的等效表头电路来表示。在这种情况下，分压电阻

$$R = \frac{U}{I'_g} - R'_g$$

如图电压表的量程为 U ，总内阻为 R_V （分压电阻与表头电阻之和），则电压表所用的电流为

$$I'_g = \frac{U}{R_V}$$

或

$$\frac{1}{I'_g} = \frac{R_V}{U} \text{ 欧/伏} (\Omega/V)$$

上式称为电压表每伏的欧姆数，也称为电压表的灵敏度。

每伏的欧姆数愈大， I'_g 愈小，则电压表的灵敏度愈高。测量时电压表对电路影响愈小。所以高质量的电压表其灵敏度 (Ω/V) 都是很高的。例如 MF—10 型三用表直流电压的灵敏度为 100000 欧/伏， $I_g = 10\mu A$ 。在三用表中往往就以电流的最小量程挡作成电压表的表头。如 MF—10 型三用表电流的最小量程挡就是 $10\mu A$ 。

例 3. 例如一只电压表的灵敏度为 $2000\Omega/V$ ，量程分为 $10V$ 、 50 、 250 三挡，表头为一只 $I_g = 157\mu A$ ， $R_g = 2409\Omega$ 的微安表。求所需的分压电阻。

解：由 $2000\Omega/V$ 的灵敏度可知电压表的工作电流为

$$I'_g = \frac{1}{2000} = 0.5mA$$

因此，原表头须加分流器将 $157\mu A$ 扩大为 $0.5mA$ ，作为电压表的表头。电压表的线路

如图 4—7。

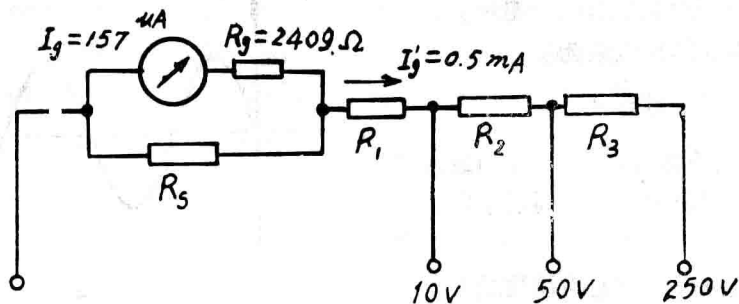


图 4—7

由例2, 0.5mA 挡计算结果分流电阻 $R_s = 1103\Omega$, 故电压表表头的等效内阻

$$R_g' = \frac{2409 \times 1103}{2409 + 1103} = 756.6\Omega$$

以等效表头代替图 4—7, 如图 4—8。 10V 挡所需的分压电阻 R_1 为

$$\begin{aligned} R_1 &= \frac{U}{I_g'} - R_g' \\ &= \frac{10}{0.5 \times 10^{-3}} - 756.6 \\ &= 10 \times 2000 - 756.6 = 19.24\text{K} \end{aligned}$$

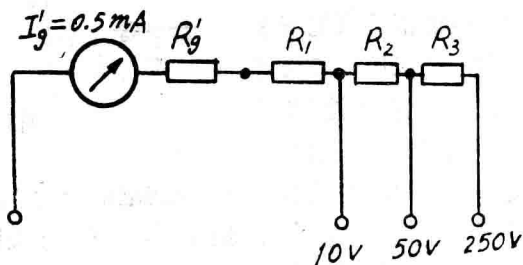


图 4—8

分压电阻

$$R_2 = (50 - 10) \times 2000 = 80\text{K}$$

分压电阻

$$R_3 = (250 - 50) \times 2000 = 400\text{K}$$

四、交流电压

交流电的大小和方向随着时间而改变。目前工业用电的电源都是交流, 并且按正弦规律

变化,称为正弦交流电。如图 4-9 所示。横轴代表时间 t , 纵轴代表电压(或电流) u (或 i)。

则交流电压的解析函数为

$$u = U_m \sin \omega t$$

上式 u 称为交流电的瞬时值, U_m 称为最大值。 ω 称为角频率。交流电的正半周表示电压或电流的某一个方向, 负半周则代表相反的方向。

用交流电表测得交流电的读数是交流电的有效值, 正弦电压有效值 U 与最大值 U_m 之间的关系为

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = 0.707 U_m$$

同理, 电流有效值 I 与最大值 I_m 的关系为:

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = 0.707 I_m$$

例如我们所用的交流电压 220 伏, 就是有效值为 220V, 而它的最大值为 $U_m = \sqrt{2} 220 = 311$ 伏。

交流电表一般为电磁式, 它的构造与测量直流用的磁电式仪表不同。如果用磁电式仪表直接去测量交流是得不到读数的。但三用表的表头是磁电式仪表, 所以用来测量交流时, 必须先将交流变换成直流, 才能进行测量, 将交流变换成直流的过程称为整流。三用表上所用的整流元件为半导体器件, 以前都用氧化铜整流器, 目前半导体二极管被广泛应用。二极管具有单方向导电的性质, 它的伏安特性如图 4-10。

加上正向电压时, 电流极易通过(正向电阻很小)。当加上反向电压时, 电流非常小(反向电阻很大)。所以二极管相当于一只开关, 在正向电压的作用下, 开关接通, 在反向电压作用下, 开关断开。

如图 4-11 将一个整流器与负载 R 串联, 在正弦电压 u 的作用下, 正半周有电流通过, 负半周电流被截止, 所以负载上的电流 i 与电压 u_R 的波形如图 4-12。这种每隔半个周期

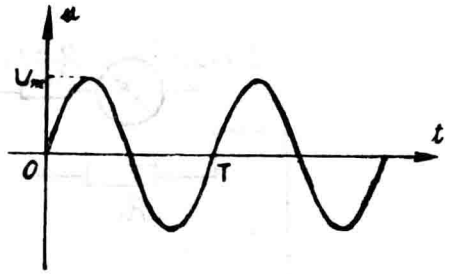


图 4-9

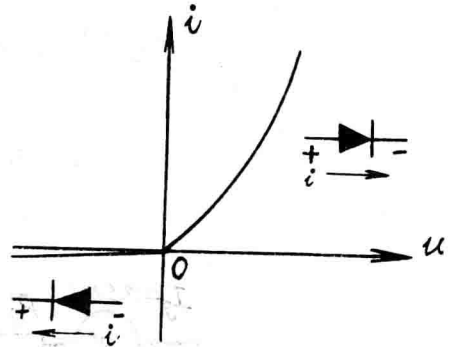


图 4-10

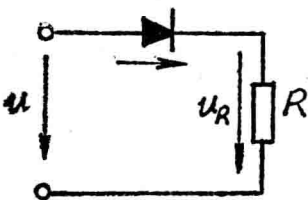


图 4-11

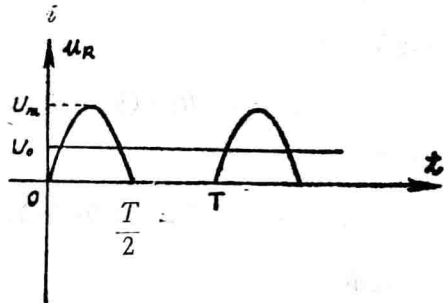


图 4-12

导电一次的整流称为半波整流。整流所得的电压和电流虽然方向不变，但它们的大小仍旧在改变。所以这种整流后的电压不是纯粹的直流，它是由直流分量和一些交流分量所组成的。如果用一只磁电式直流电压表去测量整流后的电压 u_R ，电表的读数就是电压 u_R 的直流分量，也就是它的平均值。经数学分析的结果，在半波整流中，直流分量（平均值） U_0 为

$$U_0 = \frac{1}{\pi} U_m$$

但输入端的交流有效值为

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$$

故有效值与直流分量的关系为

$$U_0 = \frac{\sqrt{2}}{\pi} U = 0.45U$$

在三用表中测量交流电压的线路图如4—13。 R 是分压电阻， D_1 和 D_2 是整流元件。正弦交流电压经 D_1 整流后，得到直流分量使磁电式表头的指针偏转。为了避免反向电压加在整流元件 D_1 上，（反向电压过高，会引起整流器击穿）所以增加一个整流元件 D_2 ，使反向电压经 D_2 形成通路。

经整流元件 D_1 整流后流向表头的直流分量为 I_0 ，通过分压电阻输入电压表的交流有效值则为

$$I = \frac{I_0}{0.45} = 2.22I_0$$

例如，设 $I_0 = 0.5mA$ ，则电压表取用交流有效值必为

$$I = 2.22 \times 0.5 = 1.11mA$$

设交流电压表的量程为 U ，则所需的分压电阻为

$$R = \frac{U}{I} - R_g'$$

交流电压表的灵敏度为

$$\frac{R + R_g'}{U} = \frac{1}{I} \text{ 欧/伏}$$

交流电压表与直流电压表共用一只表头，如果在直流与交流的情况下，表头的灵敏度相同，例如都为 $I_0 = I_g = 0.5mA$ ，则对直流电压表来说，它的灵敏度为 $\frac{1}{0.5mA} = 2000\Omega/V$ ，但对交流电压表来说，电压表取用交流有效值为 $2.22 \times 0.5 = 1.11mA$ 。它的灵敏度下降为 $\frac{1}{2.22 \times 0.5} = \frac{1}{1.11mA} = 900\Omega/V$ 。在这种情况下，直流电压的分压电阻与交流电压表的分压电阻必须分开，不能共用一套。

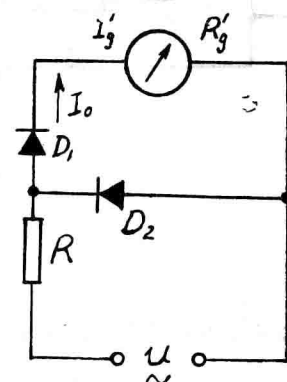


图 4—13

如果要交流电压表与直流电压表的灵敏度相同,使它们合用一套分压电阻,那么交流电压表的表头的灵敏度必须高于直流电压表。例如,交流与直流电压表的灵敏度均为 $2000\Omega/V$, 则对直流来说表头电流 $I_g' = 0.5mA$, 对交流电压表来说,它取用电流有效值 $I = 0.5mA$, 整流后,输入表头的直流分量为 $I_0 = I_g' = 0.45 \times 0.5 = 225\mu A$, 即交流电压表表头的灵敏度比直流电压表高出一倍多,所以交流电压表表头的分流电阻必须另外设计。目前的三用表大多采用这一方案。

例4. 试将例题3的直流电压表改装成交流电压表,表头的灵敏度不变,仍为 $0.5mA$ 。

解: 交流电压表的线路如图4—14。

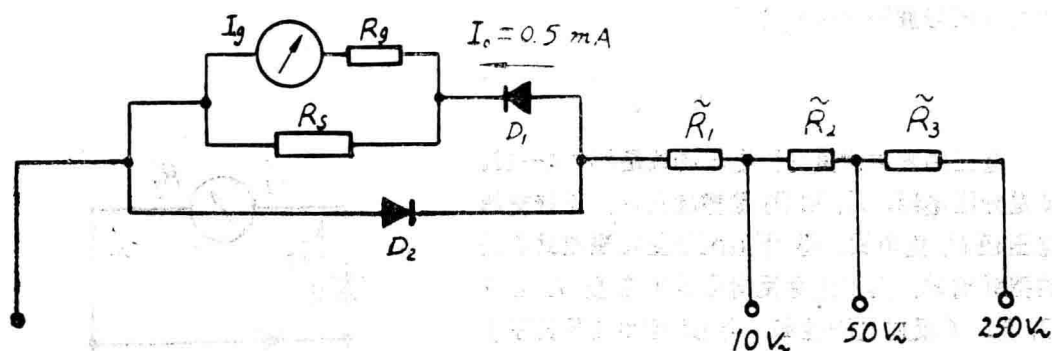


图 4—14

由例题2等效表头的电流及内阻为

$$I_g' = I_0 = 0.5mA$$

$$R_g' = 756.6\Omega$$

交流电压表所取用的交流电流有效值为

$$I = \frac{0.5}{0.45} = 1.11mA$$

交流电压表的灵敏度为

$$\frac{1}{I} = \frac{1}{1.11} = 900\Omega/V$$

对 $10V$ 挡, 分压电阻

$$\tilde{R}_1 = 900 \times 10 - 756.6 = 8244\Omega = 8.24K$$

分压电阻

$$\tilde{R}_2 = (50 - 10) \times 900 = 36000\Omega = 36K$$

分压电阻

$$\tilde{R}_3 = (250 - 50) \times 900 = 180000 = 180K$$

由于整流元件具有一定的正向电阻, 所以电阻 $\tilde{R}_1$ 在测试过程中还必须进行调整。

五、电阻的测量（欧姆计）

测量电阻的直读式仪表称为欧姆计，它的原理如图 4—15 所示。 I_g' 、 R_g' 为磁电式表头的量程及等效内阻。 R 为附加电阻。 E 为干电池的电动势， R_x 为被测的电阻。

由全电路欧姆定律，电路中的电流为

$$I = \frac{E}{R + R_g' + R_x}$$

所以仪表的指示与被测电阻 R_x 的值有关，当 $R_x = \infty$ 时（即 a 、 b 两端开路）， $I = 0$ ，此时表头的指针不动，当 $R_x = 0$ 时，（即将 a 、 b 两端短路），电路中的电流为最大，此时

$$I = \frac{E}{R + R_g'} = I_g'$$

表头的指针偏转到满刻度处。

当 $R = R + R_g'$ 时。

$$I = \frac{E}{2(R + R_g')} = \frac{I_g'}{2}$$

指针指在刻度尺的中心处。因此欧姆计的内阻 $R + R_g'$ 称为欧姆计的中值电阻，以 $R_{\text{中}}$ 表示。

$$R_{\text{中}} = R + R_g'$$

欧姆计的中值电阻是设计欧姆计的一个重要参数，另一方面中值电阻也是欧姆计的内阻。一只欧姆计的中值电阻可从欧姆计的刻度中心得知。目前中值电阻一般取 12Ω 、 24Ω 等几种规格。

选定中值电阻后，便可对刻度尺进行电阻的刻度。

例如当

$$R_x = 0, \quad I = I_g', \text{ 指针偏转在满刻度值。}$$

$$R_x = R_{\text{中}}, \quad I = \frac{I_g'}{2}, \text{ 指针偏转在刻度中心,}$$

$$R_x = 2R_{\text{中}}, \quad I = \frac{E}{3R_{\text{中}}} = \frac{I_g'}{3}, \text{ 指针偏转在满刻度的 } \frac{1}{3} \text{ 处。}$$

$$R_x = 5R_{\text{中}}, \quad I = \frac{E}{R_{\text{中}} + 5R_{\text{中}}} = \frac{I_g'}{6}, \text{ 指针偏转在满刻度的 } \frac{1}{6} \text{ 处。}$$

$$R_x = \infty, \text{ 指针不动。}$$

因此，欧姆计的刻度是自右向左递增的，如图 4—16。其刻度分布是不均匀的，右半部刻度稀疏，左半部分刻度紧密。

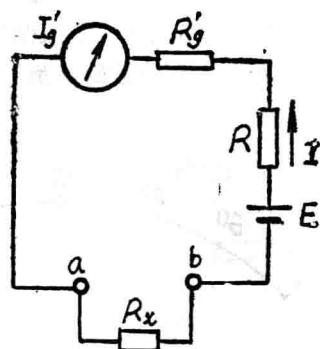


图 4—15