

大学物理实验补充

讲义

江苏化工学院

一九九二年元月

实验一 I 游标尺、螺旋测微计的原理和使用方法

105.08

II 物体密度的测定

92.51

分度值 50 毫克

最大载荷 0.5 公斤

补充 I 内容:

1. 用游标尺测量圆柱体的高五次; ~~26.55~~ 0.05 mm
2. 用螺旋测微计测量圆柱体的直径九次, 在圆柱体的上、中、下部各测量三次。 ~~23.27~~ 0.01 mm

d (单位)	$\bar{d}$ (单位)	Δd (单位)	Δh (单位)	$h = \bar{h} + \Delta h$ (单位)
6.02	5.982	5.982 cm		
5.9 + 8 × 0.02	5.9 + 42 × 0.02	5.984 cm		
5.9 + 9 × 0.02	5.9 + 46 × 0.02	5.992		
5.9 + 12 × 0.02	5.9 + 45 × 0.02	5.990		
5.9 + 12 × 0.02	5.9 + 46 × 0.02	5.992		

d (单位)	$\bar{d}$ (单位)	Δd (单位)	Δd (单位)	$d = \bar{d} + \Delta d$ (单位)
16.82 16.982	mm			
16.982				
16.982				
16.982				
16.935				
16.937				
16.949				
16.949				
16.931				
16.921				

II 方法一: 设物体的体积为 V , 质量为 M , 则其密度 ρ 为 $\rho = \frac{M}{V}$. 圆柱体的体积为 V

$$= \frac{4}{\pi d^2 h}, \text{ 所以其密度 } \rho = \frac{4M}{\pi d^2 h}. \quad 105.$$

方法二: 设物体在空气中的重量为 G_1 , 悬浸在水中的重量为 G_2 , 那么该物体在水中受到的水的浮力就是 $F = G_1 - G_2$. 根据阿基米德定律, 物体所受到的浮力的大小等于它所

排开水的重量 $\rho_0 v g$, (ρ_0 在知道水的温度后, 可查表得到)

设在空气中称该物体时所用砝码为 M_1 , 悬浸在水中称时用砝码为 M_2 , 因此

$$\rho_0 v g = M_1 g - M_2 g$$

$$\rho_0 v = M_1 - M_2$$

因为
$$V = \frac{M_1}{\rho}$$

所以
$$\rho = \frac{M_1}{M_1 - M_2} \cdot \rho_0$$

实验四 I 欧姆定律的应用

II 线性电阻和非线性电阻的伏安特性曲线

I. 欧姆定律的应用

一. 目的

1. 验证欧姆定律
2. 掌握用伏安法测电阻的方法
3. 正确使用电压表、电流表、电阻箱和滑线变阻器

二. 原理

通过一段导体的电流 I 与该导体两端的电压 V 成正比, 与该导体的电阻 R 成反比, 这就是欧姆定律, 即

$$I = \frac{V}{R} \quad (4-1)$$

或者写成

$$R = \frac{V}{I} \quad (4-2)$$

式中各量单位: I -安培, V -伏特, R -欧姆

若用电压表测得电阻两端的电压 V , 用电流表测出通过该电阻的电流 I , 由式(4-2)即可求得电阻 R 。这种测量电阻的方法称为伏安法。伏安法原理简单、测量方便, 尤其适用于测量非线性电阻的伏安特性。但是, 用这种方法测量时, 电表的内阻要影响测量结果。下面讨论电表内阻的影响。

用伏安法测量电阻, 可采用图 4-1 中的两种接线方法。

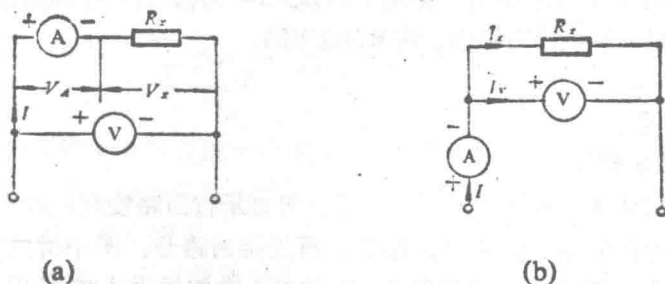


图 4-1 伏安法测电阻的两种接法

在图 4-1(a)中, 电流表读数 $I = I_x$ (通过待测电阻 R 的电流); 电压表读数 $V = V_x + V_A$, 将电表指示值 I 、 V 代入式(4-2), 得到待测电阻 R 的测量值

$$R = \frac{V_x + V_A}{I_x} = R_x + R_A = R_x \left(1 + \frac{R_A}{R_x} \right)$$

式中 R_A 为电流表内阻, R_A/R_X 是电流表内阻给测量带来的相对误差。可见, 采用图 4-1(a) 的接法时, 测得的电阻值 R 比实际值 R_X 偏大。若知道 R_A 的数值, 则待测电阻 R_X 为

$$R_X = \frac{V - V_A}{I} = R - R_A = R \left(1 - \frac{R_A}{R} \right) \quad (4-3)$$

在图 4-1(b) 中, 电压表读数 $V = V_X$ (电阻 R_X 两端的电压); 电流表读数 $I = I_X + I_V$ 。将电表的指示值 I 、 V 代入式(4-2), 得到待测电阻的测量值

$$R = \frac{V_X}{I_X + I_V} = \frac{V_X}{I_X \left(1 + \frac{I_V}{I_X} \right)}$$

将 $\left(1 + \frac{I_V}{I_X} \right)^{-1}$ 用二项式定律展开, 可写成

$$R \approx \frac{V_X}{I_X} \left(1 - \frac{I_V}{I_X} \right) = R_X \left(1 - \frac{R_X}{R_V} \right)$$

式中 R_V 为电压表内阻, $\frac{R_X}{R_V}$ 是电压表内阻给测量带来的相对误差。可见, 采用图 4-1(b) 的接法时, 测得的电阻值 R 比实际值 R_X 偏小。若知道 R_V 的数值, 待测电阻 R_X 为

$$R_X = \frac{V_X}{I - I_V} = \frac{V_X}{I \left(1 - \frac{I_V}{I} \right)} \approx \frac{V_X}{I} \left(1 + \frac{I_V}{I} \right) = R \left(1 + \frac{R}{R_V} \right) \quad (4-4)$$

概括地说, 用伏安法测电阻时, 由于线路方面的原因, 测得的电阻值总是偏大或偏小, 即存在一定的系统误差。究竟采用哪一种接线法, 必须事先对 R_X 、 R_A 、 R_V 三者的相对大小解出估计。当 $R_X \gg R_A$, 而 R_V 未必比 R_X 大时, 可采用图 4-1(a) 的接法; 当 $R_X \ll R_V$, 而 R_X 又不过分大于 R_A 时, 可采用图 4-1(b) 的接法。对于既满足 $R_X \gg R_A$, 又满足 $R_X \ll R_V$ 关系的电阻, 可用图 4-1(a) 或图 4-1(b) 的接法进行测量。如果要得到待测电阻的准确值, 必须分别按式(4-3)或式(4-4)加以修正。修正时要注意, 对于不同的量限, 电表的内阻(R_A 或 R_V) 也不同。

三. 实验内容

(一) 验证欧姆定律

实验线路如图 4-2 所示, 其中 I、II、III 表示按回路接线的顺序。

1. 按箭头所指顺序, 先连接回路 I, 再连接回路 II。图中滑线变阻器是采用分压接法, 用来改变电压的大小。经教师检查线路后, 先将滑动头 C 靠近固定端 B 处, 再合上开关 K, 接通电源, 将滑头 C 缓慢向 A 移动, 观察电压表指针的变化; 再向 B 移动, 观察电压表指针的变化有何不同, 断开电源, 最后连接回路 III。

2. 取电阻箱的电阻为一定值(如 $R = 500\Omega$), 接通电源, 调节滑线变电阻 R 两端的电压 V, 则电流 I 也随之改变。测出一系列的 V 值和相应的 I 值, 例如当电压表读数分别为

1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0 伏,时, 记录相应的电流表读数, 比较所得的电压和电流的数据, 验证电流和电压是否成比例。

3. 调节滑线变阻器, 使电压 V 固定在某一值(如 $V=3.0$ 伏), 然后改变电阻 R 的数值(如 $R=500\Omega, 600\Omega, 700\Omega$), 记录与电阻 R 对应的电流表读数。用所得的电阻和电流的数据验证电流 I 与电阻 R 是否成比例。应该注意的是, 在改变电阻 R 时, 电压表的指示有变化, 因而每改变一次电阻 R , 都需要调节滑线变阻器, 以保持电压 V 为固定值。

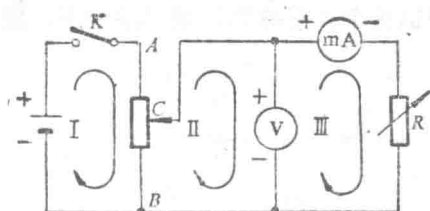


图 4-2 验证欧姆定律的电路

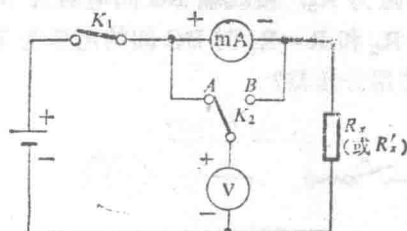


图 4-3 伏安法测电阻的电路图

(二) 用伏安法测电阻

按照图 4-3 接好线路后, 请教师检查线路。图中 K_2 是单极转换开关, 倒向 A 为图 4-1(a) 的接法; 倒向 B 为图 4-1(b) 的接法。 R_x (或 R'_x) 系待测电阻, 实验室备有大小不同的两种待测电阻(例如数千欧或数十欧), 测量时应根据阻值大小, 选择合理的线路。

1. 将开关 K_2 拨向 A, 观察电压表和电流表的读数(如果读数偏小或偏大, 可调整电源的电压或改变电表的量程)。再将 K_2 由 A 倒向 B, 如果电流表的指示也有变化(增大), 表示待测电阻 R_x 为高电阻。这时应把 K_2 拨回 A, 读出电压表和电流表指示值, 记录电流表的内阻 R_A , 按式(4-3)算出待测电阻 R_x (修正值)。

2. 改变(增大)电流表的量程, 降低电源电压, 换接另一个待测电阻 R'_x 。观察开关 K_2 在 A 处时电压表和电流表的读数, 将开关 K_2 由 A 倒向 B, 如果电压表的读数有变化(减小), 表示待测电阻为低电阻。记下此时电压表和电流表的指示值以及电压表的内阻 R_V , 按式(4-4)算出待测电阻 R'_x (修正值)。

3. 由 $R_x = \frac{V}{I}$, 按照误差公式得到

$$E_r = \frac{\Delta R_x}{R_x} = \frac{\Delta V}{V} + \frac{\Delta I}{I} \quad (4-5)$$

式中 ΔV = 电压表量程 $\times$ 电压表准确度等级%, V 为读出的电压值; ΔI = 电流表量程 $\times$ 电流表准确度等级%, I 为读出的电流值。按式(4-5)算出 $\Delta R_x / R_x$ 值。这是由于受到电表准确度限制带来的最大可能误差。

4. 按绝对误差 $\Delta R_x = R_x \cdot E_r$ 计算测量误差。

注意:

1. 在每次改换线路之前, 都应将滑线变阻器(分压器)的输出电压调至最小, 并将电源断开。

2. 在实验操作时, 应注意电压表和电流表的指针都不要超过量程。

四、问题

1. 在图 4-4 和图 4-2 所示的线路中滑线变阻器各起什么作用? 在图 4-4 中, 当滑头 C 移至 A 或 B 时, 电压表的读数是否有变化? 这种变化是否与图 4-2 中移动滑动头 C 时的变化相同?

2. 滑线变阻器当作分压器用的电路如图 4-5 所示。已知滑线变阻器两个固定接线端 AB 间总电阻为 R_0 , 接线端 BC 间电阻为 R_x , 现将外部负载电阻 R 并联到 BC 上, 试计算: $R \gg R_0$ 和 $R = R_0$ 时 BC 间的电压为多少? 根据这个计算结果, 请归纳一下, 应当怎样正确地使用分压器?

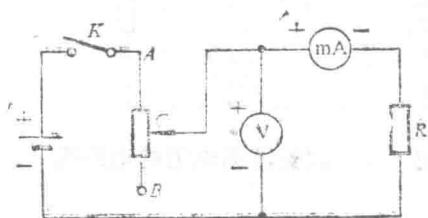


图 4-4 变阻器的变流接法

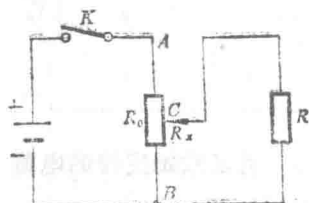


图 4-5 分压电路的分析讨论

II. 线性电阻和非线性电阻的伏安特性曲线

通过一个元件的电流随外加电压的变化关系曲线, 称为伏安特性曲线。从伏安特性曲线所遵循的规律, 可以得知该元件的导电特性。

在坐标纸上描绘伏安特性曲线之前, 应阅读绪论中有关实验数据图示法的内容。

一、目的

1. 测绘电阻的伏安特性曲线, 学会用图线表示实验结果。

2. 了解晶体二极管的单向导电特性。

二、原理

若一个元件两端的电压与通过它的电流成比例, 则伏安特性曲线为一条直线, 这类元件称为线性元件。若元件两端的电压与通过它的电流不成比例, 则伏安特性曲线不是直线, 而是一条曲线, 这类元件称为非线性元件。

一般金属导体的电阻是线性电阻, 它与外加电压的大小和方向无关, 其伏安特性是一条直线(见图 4-6)。这表明, 当调换电阻两端电压极性时, 电流也换向, 而电阻始终是一定值, 等于直线斜率的倒数 $R = \frac{V}{I}$ 。

常用的晶二极管是非线性电阻, 其电阻值不仅与外加电压的大小有关, 而且也与方向有关。为了了解晶体二极管的导电特性, 下面对它的结构和电学性能作一简单介绍。

晶体二极管又叫半导体二极管, 半导体的导电性能介于导体和绝缘体之间, 如果在纯

净的半导体中适当地掺入极微量的杂质，则半导体的导电能力就会增加百万倍。加到半导体中的杂质可分成两种类型：一种杂质加到半导体中去后，在半导体中会产生许多带负电的电子，这种半导体叫电子型半导体(也叫 n 型半导体)；另一种杂质加到半导体中会产生许多缺少电子的空穴(空位)，这种半导体叫空穴型半导体(也叫 P 型半导体)。晶体二极管是由两种具有不同导电性能的 n 型半导体和 p 型半导体结合形成的 P-n 结所构造的。它有正、负两个电极，正极由 P 型半导体引出，负极由 n 型半导体引出，如图 4-7(a)所示，P-n 结具有单向导电的特性，常用图 4-7(b)所示的符号表示

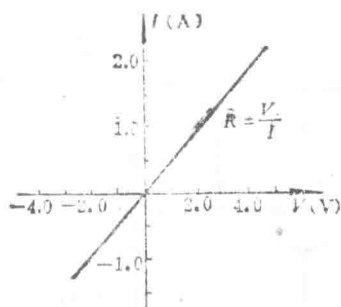


图 4-6 线性电阻的伏安特性

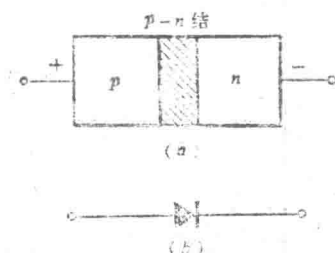


图 4-7 晶体二极管的 p-n 结和表示符号

对 P-n 结的形成和导电性能可作如下解释：

如图 4-8(a)所示，由于 P 区中空穴的浓度比 n 区大，空穴便由 P 区向 n 区扩散；同样，由于 n 区的电子浓度比 P 区大，电子便由 n 区向 P 区扩散，随着扩散的进行，P 区空穴减少，出现了一层带负电的粒子区(以 $\ominus$ 表示)；n 区的电子减少，出现了一层带正电的粒子区(以 $\oplus$ 表示)。结果在 P 型与 n 型半导体交界面的两侧附近，形成了带正、负电的薄层区，称为 P-n 结。这个带电薄层内的正、负电荷产生了一个电场，其方向恰好与载流子(电子空穴)扩散运动的方向相反，使载流子的扩散受到电场的阻力作用，所以这个带电薄层又称为阻挡层。当扩散作用与内电场作用相等时，P 区的空穴与 n 区的电子不再减少，阻挡层也不再增加，达到动态平衡，这时二极管中没有电流。

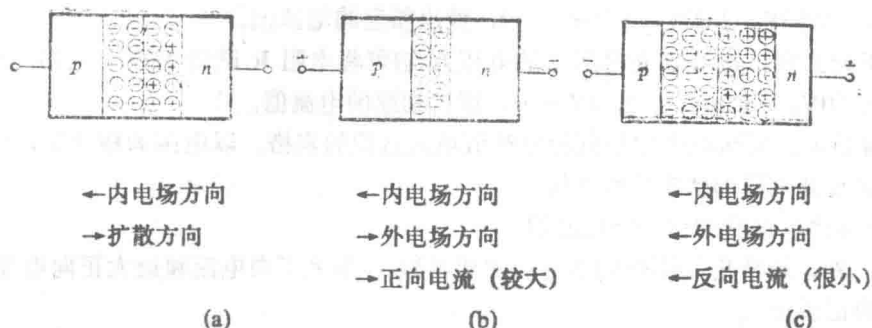


图 4-8 P-n 结的形成和单向导电特性

如图 4-8(b)所示，当 P-n 结加上正向电压(P 区接正，n 区接负)，外电场与内电场方

向相反，因而削弱了内电场，使阻挡层变薄。这样，载流子就能顺利地通过 P-n 结，形成比较大的电流。所以，P-n 结在正向导电时电阻很小。

如图 4-8(c)所示，当 P-n 结加上反向电压(P 区接负，n 区接正)时，外加电场与内电场方向相同，因而加强了内电场的作用，使阻挡层变厚。这样，只有极少数载流子能够顺利通过 P-n 结，形成很小的反向电流。所以 P-n 结的反向电阻很大。

晶体二极管的正、反特性曲线如图 4-9 所示，从图上看出现电流和电压不是线性关系，各点的电阻都不相同。凡具有这种性质的电阻，称为非线性电阻。

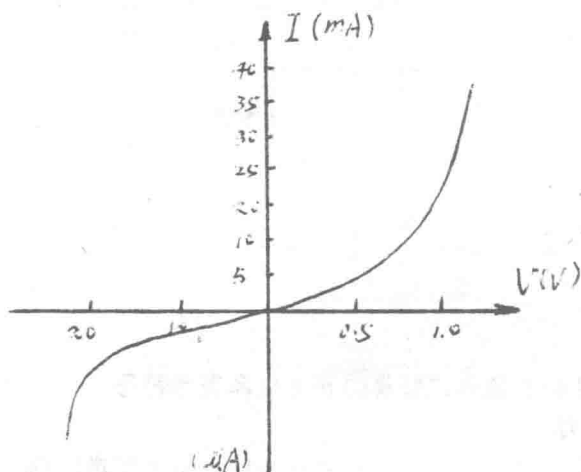


图 4-9 晶体二极管的伏安特性

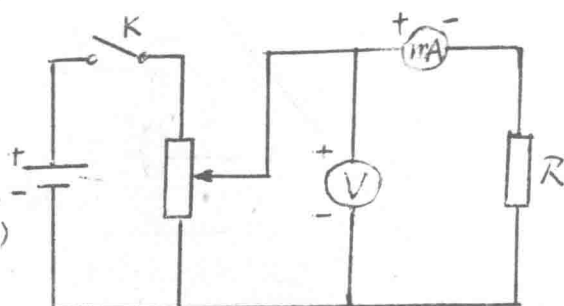


图 4-10 测电阻伏安特性的电路

三、实验内容

(一)测绘金属膜电阻的伏安特性曲线

1.按图 4-10 接好线路，图 $R \gg R_A$ (毫安表内阻)，注意将分压器的滑动端调至电压为零的位置；电表的量限要选择适当。

2.经教师检查线路后，接通电源，调节滑线变阻器滑动头，从零开始逐步增加电压 (例如取 0.00V, 0.50V, 1.00V, 1.50V……)，读出相应的电流值。

3.将电压调为零，改变加在电阻上的电压方向 (可将电阻 R 调转 180° 连接)，取电压为 0.00V, -0.50V, -1.00V, -1.50V……，读出相应的电流值。

4.将测得的正、反向电压和相应的电流值填入自拟的表格。以电压为横坐标，电流为纵坐标，给出金属电阻的伏安特性曲线。

(二)测绘晶体二极管的伏安特性曲线

测量前，先记录所用晶体管的型号和主要参数 (即最大正向电流和最大正向电压)，再判别晶体管的正负极。

1.为测得晶体二极管的正向特性曲线，按图 4-11 电路接线。图中 R 为保护晶体二极管的限流电阻，电压表的量限取 1 伏左右。经教师检查线路后，接通电源，缓慢地增加电

压, 例如取 0.00V , 0.10V , 0.20V ,(在电流变化大的地方, 电压间隔应取小一些), 读出相应的电流值, 最后断开电源。

2. 为测得反向特性曲线, 按图 4-12 接线。将电流表换成微安表, 电压表换接比 1 伏大的量限, 接上电源, 逐步改变电压, 例如取 0.00V , 1.00V , 2.00V ,, 读出相应的电流值。

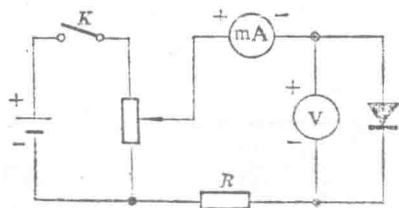


图 4-11 测晶体二极管正向伏安特性的电路

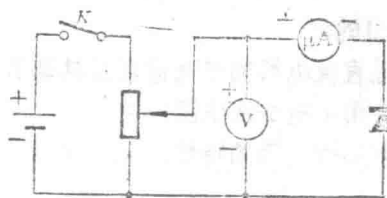


图 4-12 测晶体二极管反向伏安特性的电路

3. 以电压为横轴, 电流为纵轴, 利用测得的正、反电压和电流的数据, 绘出晶体二极管的伏安特性曲线, 由于正向电流读数为毫安, 反向电流读数为微安, 在纵轴上半段和下半段坐标纸上每一小格代表的电流值可以不同, 但必须分别标清楚。

注意:

1. 测晶体二极管正向伏安特性曲线时, 毫安表读数不得超过二极管允许通过的最大正向电流值。

2. 测晶体二极管反向伏安特性时, 加在晶体管上的电压不得超过管子允许的最大反向电压。

3. 实验时, 如违反上述任一条规定, 都将会损坏晶体管。

四、问题

1. 在图 4-11 中, 电表的接法有何不同? 为什么要采用这样的接法?

2. 如何作出伏欧特性曲线(V-R 曲线)? 金属膜电阻和晶体二极管的伏欧特性曲线各有什么特性?

实验五 惠斯登电桥和万用表的使用

惠斯登电桥及其应用:

一、目的

1. 掌握直流电桥的平衡原理及其调节方法;
2. 学会用电桥法测电阻;
3. 了解热敏电阻的特性.

二、仪器

QJ23 型惠斯登电桥, 待测电阻, 温度计, 热敏电阻等.

三、原理

1. 惠斯登电桥的工作原理:

不同电阻值的电阻的测量方法是不相同的, 按电阻的大小来分可分为三类:

在 1Ω 以下的为低电阻, 从 1Ω 到 $100K\Omega$ 的为中电阻, $100K\Omega$ 以上的为高电阻.

对于中阻值范围内的电阻测定有下列几种方法:

(1) 伏安法

(2) 电位差计

(3) 电桥法——本实验将对直流电阻的基本原理与涉及的一些基本问题和要求进行学习.

惠斯登电桥是用比较法测定电阻的仪器, 它有四个桥臂(R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4), 检流计(连接在对角线 BD 上)和电源 E 组成, 接入检流计的对角线称为“桥”, 如图一所示.

当通过检流计 G 的电流为零时 $I_g = 0$, 即 B、D 两点的电位相等, 我们称此电桥达到了平衡状态, 因此有:

$$V_{AB} = V_{AD}; \quad V_{BC} = V_{DC} \quad (1)$$

$$I_1 R_1 = I_4 R_4; \quad I_2 R_2 = I_3 R_3 \quad (2)$$

又因 $I_g = 0$

$$\text{所以有 } I_1 = I_2, \quad I_3 = I_4$$

$$\text{由(1)和(2)得到 } \frac{R_1}{R_2} = \frac{R_4}{R_3}$$

$$\text{所以 } R_2 = \frac{R_1}{R_4} \cdot R_3 \quad (R_2 \text{ 为待测电阻}) \quad (3)$$

$$\text{令 } \frac{R_1}{R_4} = C, \text{ 则 } R_2 = CR_3 \quad (C \text{ 称为比率臂}) \quad (4)$$

由(3)式可以看出, 当知道 R_1/R_4 的比值 C 及电阻 R_3 的值后, 由电桥平衡就可得出未知电阻 R_2 的值; 且有这种读测方法的电桥称为平衡电桥。

图一中 R_2 为待测电阻, R_3 为调节电阻(或比较电阻), R_3 也称为测定臂, R_1/R_4 称为电桥的比率臂。

2. 电桥的灵敏度

平衡电桥的灵敏度是这样定义的: 当电桥平衡时, 桥臂电阻 $X(R_3)$ 的单位变量所引起检流计指针偏离平衡位置的相应偏格数

即: $\frac{\Delta Q}{\Delta X}$ 。从电桥平衡方程看来

其电源电压以及桥臂取什么阻值都无关, 实际并非如此, 公式(3)是发生在电桥工作“平衡”状态时的结果。G 是指示仪器, 指示平衡的灵敏度有限的, 否则

我们无法获得平衡。在电桥调节到平衡时, 指示仪表中不可能绝对没有电流流过只不过是指示仪表指示不出来罢了。既然有电流, 那么在平衡时, 通电流的大小(显示电桥灵敏度)必然与电源电压以及桥臂电阻有关。因此电桥的灵敏度除了与指示仪表本身有关外, 还与电学线路有关。

当电桥起于“平衡”时, 检流计中电流的大小与电源、电压的大小有关, 在考虑到各桥臂元件容许的功率或指定电流的情况下, 如果桥臂选择得当增大电源电压相应也可增大电桥的灵敏度。

3. 热敏电阻:

热电导效应是半导体的重要特性之一, 利用这一特性制成热敏电阻, 在各方面有着广泛的应用, 例如在灵敏温度计、恒温器、稳压器、自动控制和远距离探测仪器中, 它是非常重要的元件, 半导体中的载流子(电子和空穴)的数目是随温度的升高按指数式规律增加。我们知道载流数目越多, 则导电能力越强, 电阻越小。因此热敏电阻的温度升高时, 电阻按自然对数迅速减小(与金属导体情形相反)。温度的微小变化, 可以引起很大的电阻改变。热敏电阻的特点是: 电阻与温度的关系是非线性的, 而且电阻温度的系数是负的且绝对值很大, 故利用热敏电阻可以觉察出 0.0005°C 的温度变化, 电阻随温度的升高迅速地按指数式减小, 变化规律如下:

$$R_T = A e^{B/T}$$

式中 R_T 为热敏电阻的阻值, A 、 B 为常数, 由热敏电阻的形状和材料来决定, 它的电阻温度关系曲线称为“温度特性曲线”。

四、实验内容:

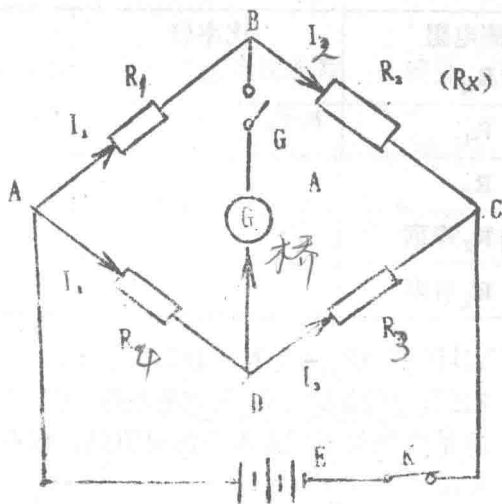


图 一

1.测量两个未知电阻 R_1 和 R_2 ，并分别测量其串、并联电阻值，最后与理论值的串、并联比较。



数据表格:

待测电阻 R_x	比率臂 C	比较臂 $R_s(\Omega)$	电阻臂 $R_x = C \cdot R_s$
R_1	R_1/R_4	R_3	
R_2			
$R_1、R_2$ 串联			
$R_1、R_2$ 并联			

计算绝对误差 $\Delta R_x = \pm K_r \cdot (a\%R_s + b\Delta R)$ ， ΔR 为最小分度值， a 为准确度等级， $a、b$ 值看仪器背面的铭牌， K_r 为比率系数。(即 C 值) $\Delta R = 1$ 。

2.测量热敏电阻在不同温度下的电阻值，根据实验结果作出热敏电阻的“温度特性曲线”。($t^{\circ}\text{C}$ 从 $20^{\circ}\text{C} \sim 60^{\circ}\text{C}$)。

要求在测量时水温从 20°C 到 60°C ，测量十个点以上。由于温度在 $20^{\circ}\text{C} \sim 40^{\circ}\text{C}$ 之间变化时，热敏电阻变化较大，因此在这段区域内应多测几个点。即使温度变化缓慢些，这样便于作图。

实验数据

测量次数	水温 $t^{\circ}\text{C}$	比率臂 c	比较臂 $R(\Omega)$	热敏电阻值 R_T
1				
2				
3				
4				
:				
:				

【思考题】

如何正确选用比率臂?正确选用比率臂的目的何在?

【实验报告要求】

- 一.写明实验目的和名称;
- 二.实验简单原理及有关线路，基本公式;
- 三.实验仪器及编号;
- 四.实验结果及数据处理;
- 五.根据实验结果作出热敏电阻(纵轴)——温度(横轴)曲线;
- 六.回答思考题。

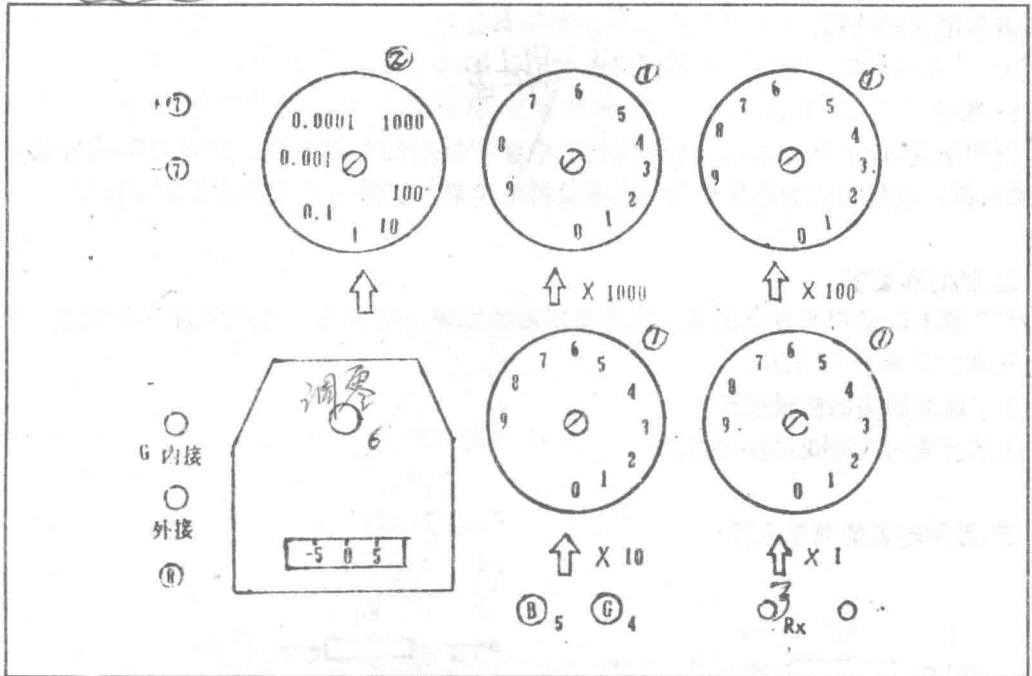
附录:

QJ-23 型携带式直流单电桥的使用

本实验用的是 QJ23 型携带式直流单电桥,它主要是由比率臂、比较臂、(测定臂)、检流计及电池组合而成,面板如图二所示。

欲需外接高灵敏度检流计时,将“内”附检流计用短路片短路,在“外”接线柱上连接外接检流计。

要外接电池时,把要接的外接电池接到“B”接线柱上,使用内接电池时,将接线柱“B”用短路片短路。



按钮“B”和按钮“G”为测量时用,是分别接通电源和检流计用的,并按顺时针方向旋转时,可以锁住。

图二中:

①是测定臂,它由四组可变电阻串联而成,读数总和相当于公式(4)中的 R_3 ;

②是比率臂,分成七个量程,相当于公式(4)中的 C ;

③ R_x 待测电阻的两接线柱;

④ G 是接通检流计的压触电键;

⑤ B 是电源开关;

⑥ 检流计机械零点调节装置;

⑦ B 是外接电源的接线柱;

G 是内接或外接检流计的接线柱。

QJ 2 QJ 23 仪器的使用方法: 首先检查一下外接检流计接线柱是否正确短路好, 然

后使检流计指针与“0”重合。

被测电阻接到“ R_x ”两接线柱上，适当调节比率臂②和比较臂①，使按钮“B”和“G”闭合时，检流计没有电流通过，则可得 $R_x = CR$ 即(4)式，注意在按“B”和“G”时，先按下“B”即接通电源，再跃按“G”。在测量之前，一般情况比率臂放在 $\times 1$ 上，比较臂放在 1000Ω 上。按下钮“B”，然后轻按检流计按钮“G”。这时观察检流计指针在“+”之间晃动，如果指针向“+”的一边偏转，说明被电阻 R_x 大于 1000Ω ，可把比率臂放在 $\times 10$ 上，如果开始时指针向“-”的一边晃动可知被测电阻 R_x 小于 1000Ω ，可把比率臂放在 $\times 0.1$ 或 $\times 0.01$ 上，指针就会移动到正的一方，为此可得 R_x 的大约值。然后调节四个比较臂读数盘，使检流计处于平衡状态，即 $I_g = 0$ ，根据(4)式可示得 R_x 的值。

万用电表的使用：

一.引言

万用表是实验室、电工、无电线技术中经常使用的测量工具。它可以测量直流电流、直流电压，电阻和交流电压以及与之有关的电学量，它特点是使用简便而多用途。

二.目的和要求

- 1.了解不同量程的直流电表，直流电压表的原理，掌握不同量程的直流电流表，交直流电压表的正确使用方法。
- 2.了解欧姆表的测量原理。
- 3.掌握欧姆表的正确使用方法。

三.万用电表的简单原理：

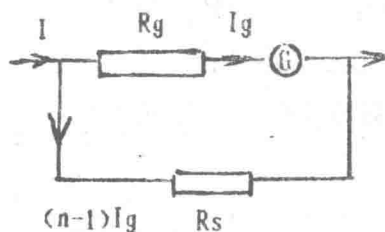


图 1

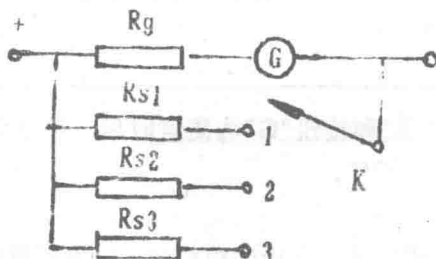


图 2

1.直流电流挡的设制：通常一个电流计它所能测量的电流量程很小。为了测量上的需要，往往需要扩大它的电流量程。一个灵敏度较高的电流计，配制不同的分流电阻，则可设制成不同量程的安培计，如欲将一个内阻为 R_g ，电流量程(即满度电流)为 I_g 的电流计的量程扩大为 I_g 的几倍，则必须使分路中通过的电流为 $(n-1)I_g$ ，如图(1)从欧姆定律便可求得分流电阻

$$R_s = \frac{1}{n-1} \cdot R_g \quad (1)$$

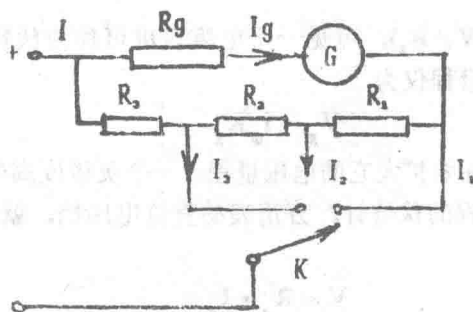


图 3

并联分流电阻的方式一般有两种，第一种是“开路转换法”，如图(2)所示的不同量程所需要的分流电阻可按(1)式求得。这种转换的优点是，改按后的电表的电压降小和易于设计计算，而缺点是若转换开关 K 接触不良，容易带来较大的误差，甚至烧毁电表，第二种是“闭路转换”法如图(3)，分流电阻的计算如下：在 I_1 的电流档， $(I_1 - I_g) \cdot (R_1 + R_2 + R_3) = I_g R_g$ ， $I_1 = I$ ，即：

$$I_1 (R_1 + R_2 + R_3) = I_g \cdot (R_g + R_1 + R_2 + R_3) \quad (2)$$

$$\text{令 } R_{s1} = R_1 + R_2 + R_3.$$

$$R_{s1} = \frac{R_g}{\frac{I_1}{I_g} - 1} \quad (2')$$

(2)式与(1)式的形式完全相同。在 I_2 的电流档 $(I_1 - I_g) \cdot (R_2 + R_3) = I_g \cdot (R_g + R_1)$ 即：

$$I_2 \cdot (R_2 + R_3) = I_g \cdot (R_g + R_1 + R_2 + R_3) \quad (3)$$

此式与(2)式相比较得到 $I_2 \cdot (R_2 + R_3) = I_1 (R_1 + R_2 + R_3)$ ，令 $R_{s2} = R_1 + R_3$ ，则

$$R_{s2} = \frac{I_1}{I_2} \cdot R_{s1} \quad (3')$$

在 I_3 的电流档 $(I_3 - I_g) \cdot R_3 = I_g \cdot (R_g + R_1 + R_2)$ ，即：

$$I_3 R = I_g \cdot (R_g + R_1 + R_2 + R_3) \quad \text{所以: } R_3 = \frac{I_1}{I_3} \cdot R_{s1} \quad (4)$$

从(2)'、(3)'、(4)'式可以计算出各个电流档的分流电阻，计算时首先求得 R_{s1} ，即总的电流分阻。其余各档的电流很容易求得，设任一档的分流电阻为 R_{si} ，则：

$$R_i = \frac{I_1}{I_i} R_{s1} \quad (5)$$

这对设计者是很方便的，可根据各档的电流量程 I_i 及总的分阻， R_{s1} 很快地求出各档的分流电阻 R_{si} ，进而求出 R_i 来，采用闭路转换时，从图(3)可以看出，转换开关若接触不良，其接触电阻仅在外电路，不在分电路之内，因此不会影响测量的准确度，更不会接触不良毁坏电表。

2. 直流电压档的设制

一个电流计具有一定的内阻 R_g ，若在其两端加上电压 V ，则电流计中的电流与所

加的电压成正比, (即 $I = V / R_g$), 可见一个电流表也可作为伏特计之用的, 不过这样的伏特计电压量程很小, 其量程仅为

$$V_g = I_g R_g \quad (6)$$

为了测量上的需要往往要扩大它的电压量程, 一个灵敏度高的电流计, 串接不同的降压电阻, 便可制成不同量程的伏特计, 万用表的直流电压档, 就是根据这一原理制成的, 从(6)式可以得出:

$$V = R_g \cdot I_g \quad (7)$$

如果将(7)式看作代表任一量程的电压表其电压量程为 V , 电流量程为 I_g , 那么它的内阻应为 $R = V / I_g$, 即:

$$R / V = 1 / I_g \quad (7')$$

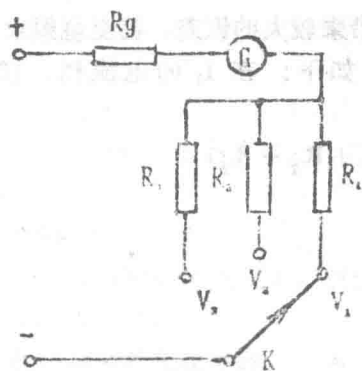


图 4

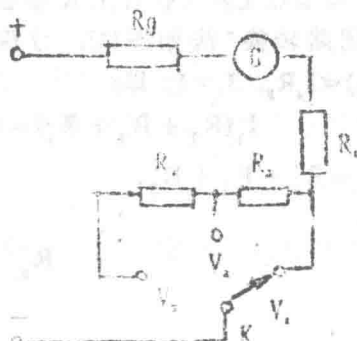


图 5

R / V 为常数, 它表示每伏电压所需的欧姆数, 它仅由表头的电流量程 I_g 所决定, 要将一个电流量程为 I_g 的电流计改装成不同量程的伏特计, 从(7)' 式出发很容易求得不同量程的伏特计, 该伏特计的内阻, 由(7)' 式可以求得: $R_g + R_{降} = V / I_g$, 则

$$R_{降} = V / I_g - R_g \quad (8)$$

将电流计改装成不同量程的伏特计, 联接电阻的方式一般有两种, 第一种如图(4), 降压电阻可按(8)求出, 第二种如图(5), 各电压档串联的降压电阻根据(8)式不难求得:

$$R_1 = V_1 / I_g - R_g \quad (9)$$

$$R_2 = V_2 / I_g - (R_g + R_1) \quad (10)$$

$$R_3 = V_3 / I_g - (R_g + R_1 + R_2) \quad (11)$$

电流计的灵敏度越高(即 I_g 越小), 用它改装伏特计时所需串接的降压就越大, 这表明该伏特计的内阻越大, 用它测量电压时, 对被测电路影响越小。

3. 欧姆档的设制: 一个电流计经过改装, 可以测量不同大小的直流电流及直流电压, 同样经过一定的改装也可测量电阻, 其原理如图(6), 若将 A、B 间短路, 调节 R , 可使

$$I_g = E / (R_g + R) \quad (12)$$

从图(6)可以看出电流计串联一个电阻 R 就是一个伏特计, 其内阻为 $R_g + R$, 可以选择不同的 R 得到不同的伏特计, 如调节 R 使该伏特计的量程恰等于 E , 则 A、B 点短路