

实验 3-2 直流电桥测电阻

【实验目的】

1. 掌握单臂直流电桥测电阻的原理及其测量方法。

【仪器用具】

板式滑线电桥一套、QJ-24 单臂电桥一台、QJ-19 型两用直流电桥一台、AC/15/5 型检流计一台、微安表一个、甲电池一个、稳压电源一台、标准电阻两个。

【仪器描述】

QJ-24 型直流单臂电桥的等效电路图如图 3-2-1 所示,其面板图如图 3-2-2 所示。待测电阻接在 X_1 、 X_2 上,为测量臂; I、II、III、IV 为比较臂; V 为比例臂。调节比例臂及比较臂,总可以使检流计读数为零,此时比较臂的读数乘以比例臂的读数即为待测电阻的阻值。面板上 V_i 为检流计, B_0 为内接电源的按钮开关, G_0 为检流计的接通按钮, G_1 为检流计串联保护电阻后的接通按钮。B 为外接电源的接线柱, G 为外接检流计的接线柱。

QJ-19 型两用直流电桥的原理图如图 3-2-3 所示,其面板图及测量时的接线图如图 3-2-4 所示。

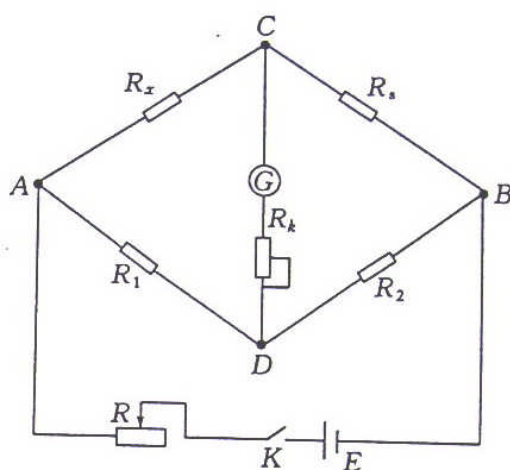


图 3-2-1

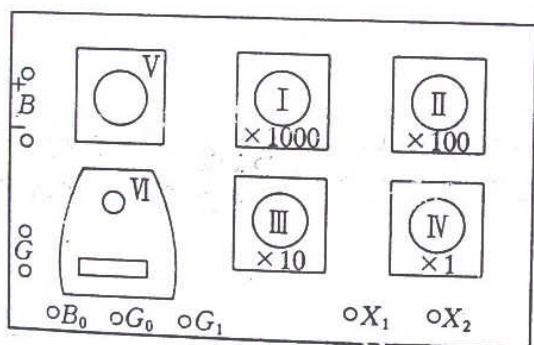


图 3-2-2

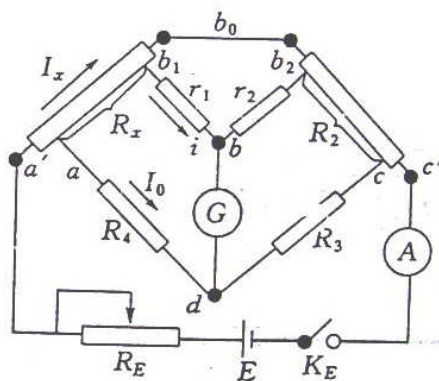


图 3-2-3

【实验原理】

电桥测量法是电磁学实验中最重要测量方法之一,有着非常广泛的应用。它具有灵敏度和准确度都较高、结构简单、使用方便的特点。下面分别介绍直流单臂电桥(惠斯登电桥)和直流双臂电桥(开尔文电桥)。

1. 直流单臂电桥(惠斯登电桥)

直流单臂电桥的基本电路原理图如图 3-2-1 所示。 R_1 、 R_2 、 R_x 、 R_3 为四个电阻,构成电桥的四个臂。 R_x 为待测电阻,常称测量臂; R_3 为已知电阻,称标准电阻,常称比例臂;

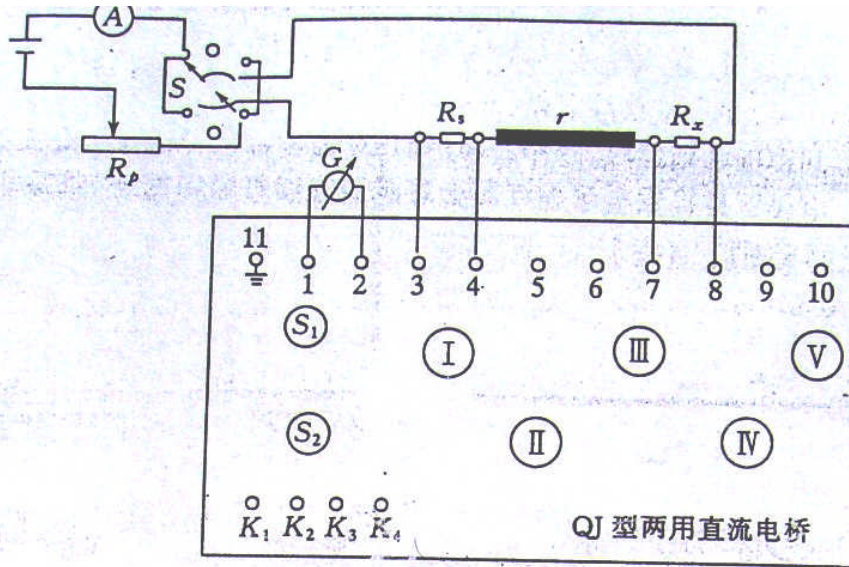


图 3-2-4

R_1 、 R_2 也为已知电阻,常称比较臂。在 A 、 B 对角线间接电源、限流电阻、开关,在 C 、 D 对角线间接检流计、保护电阻和开关。当接通两个开关时, R_1 、 R_2 、 R_x 、 R_s 、检流计上分别有电流 i_1 、 i_2 、 i_x 、 i_s 、 i_g 。适当地调节各臂的电阻值,可使得检流计电流 i_g 为零,即可调得 C 、 D 两点电位相等,此时称电桥达到了平衡。当电桥平衡时,由 $i_g = 0$,即 $V_C = V_D$,可知

$$V_{AD} = V_{AC}, V_{BD} = V_{BC}$$

$$i_1 = i_2, i_x = i_s$$

由欧姆定律得

$$i_x R_x = i_1 R_1 \quad (3-2-1)$$

$$i_s R_s = i_2 R_2 \quad (3-2-2)$$

由(3-2-1)式和(3-2-2)式可得

$$\frac{R_x}{R_s} = \frac{R_1}{R_2} \quad (3-2-3)$$

即

$$R_x = \frac{R_1}{R_2} R_s \quad (3-2-4)$$

单臂电桥中最简单而又直观的是板式电桥,图 3-2-5 所示是一种板式滑线电桥。 AB

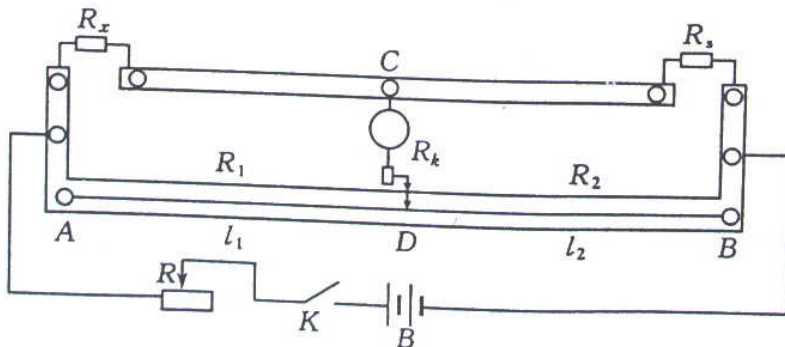


图 3-2-5

是一均匀的电阻丝,固定在一米尺上, D 点可在 AB 上滑动, CD 间接有检流计 G , R_s 为标准电阻, R_x 为待测电阻, AB 端连接电池 E 、保护开关 K 、限流电阻 R (R 调节工作电流用), D 把 AB 分成 AD 、 DB 两段电阻丝,对应长度为 l_1 、 l_2 ,组成比例臂。选定 R_s ,调节 D 点位置,使检流计电流为零,电桥达到平衡, C 、 D 两点电位相等,有

$$R_x = \frac{l_1}{l_2} R_s \quad (3-2-5)$$

2. 直流双臂电桥(开尔文电桥)

直流单臂电桥测量中值电阻有较高的精确度,是测量电阻的很好装置。但用来测量低电阻($10^{-3} \sim 10^{-5} \Omega$)就很难精确测量。这是因为:(1)待测电阻与接线端有接触电阻;(2)连接的导线也有电阻,这些电阻不大,但在测量低电阻时,其值就可能与低电阻相比较而不能忽略。直流双臂电桥(开尔文电桥)是专门为测量低电阻而设计的,基本原理图如图3-2-3所示,其中 R_x 、 R_s 为低值电阻, R_x 为低值待测电阻, R_s 为标准低值电阻。它通常由四端组成,两端为电流端,以两个粗端钮表示,靠近两端内侧有两较细的端钮,为电压测量端。 R_3 、 R_4 、 r_1 、 r_2 为中值电阻,比导线的电阻、接触电阻大得多,也比待测电阻及标准低值电阻大得多。设计时严格保证 $\frac{R_4}{R_3} = \frac{r_1}{r_2}$ 。因此,当电桥平衡时,有

$$I_x R_x = R_4 I_4$$

$$I_x R_2 = R_3 I_4$$

两式相除,得

$$\frac{R_x}{R_2} = \frac{R_4}{R_3}$$

若 R_2 为标准电阻 R_s ,则上式与单臂电桥有相同的公式:

$$R_x = \frac{R_4}{R_3} R_s \quad (3-2-6)$$

【实验步骤】

一、用板式电桥测电阻

1. 按图3-2-5接好线路, R_s 最好选择与待测电阻接近的标准电阻, R 取较小的电阻, R_x 先调至最大。检流计 C 点接好后,滑动头 D 点先不要按下。
2. 合上电源开关 K ,接下滑动头 D ,观察检流计 G 的偏转情况。如偏转过大,应赶快松手,在偏转不太大的情况下,按下 D 点,在电阻丝上滑动,找出平衡点。
3. 将 R_x 调至最小值,找出更为准确的平衡点,记下 l_1 、 l_2 。
4. 改变 R_s 的值,用同样的方法,测量 3 次,将记录的数据填入表格中。
5. 用同样的方法测量第二个电阻,取 3 组数据。
6. 以上面的步骤测量两电阻串联之值。
7. 以上面的步骤测量两电阻并联之值。

8. 测量完后先断开滑动头与电阻丝的接触,断开电源开关 K 。

二、用 QJ-24 型直流单臂电桥测量电阻(见面板图 3-2-2)

1. 调节好检流计的机械零点。
2. 将待测电阻接在 X_1 、 X_2 上。
3. 将比例臂 V 和比较臂 I、II、III、IV 调到适当位置,使电桥在接近平衡位置的状态下使用。
4. 先按下电源按钮 B_0 ,再按下检流计按钮 G_1 ,如完全不知待测电阻的状况,此时应特别注意检流计的偏转情况,如偏转太大,应立刻松开 B_0 、 G_1 按钮,根据偏转方向调节电桥各臂,使检流指示为零,电桥达到平衡。
5. 按下 B_0 、 G_0 进行精确调节,使检流计在无保护电阻的状态下调节到检流计指示为零,电桥达到平衡。
6. 断开 G_0 、 B_0 ,记录各臂的读数。
7. 分别测量两电阻各自的电阻值,以及两电阻串联、并联的电阻值,记录于表中。

三、用 QJ-19 型两用直流电桥测低电阻(自行设计测试步骤)

【思考题】

1. 图 3-2-1 中,若将对角线 CD 与对角线 AB 间的接线对换,能否测出 R_x ? 试写出其计算公式。
2. 做板式电桥实验时,如滑动 D 点,检流计始终往一个方向偏,这会是什么原因?
3. 欲提高直流单臂电桥的灵敏度,主要有哪几种方法?