

# 第 7 章

## 比较法实验

### 实验 7.1 电位差计的原理与使用

电位差计是一种精密测量电位差(电压)的仪器,由于其在电路设计中采用补偿原理和比较法,在实际测量时不从被测电路支取电流,因此可以达到非常高的测量准确度。电位差计不仅可以用来测量电动势、电压、电阻、电流等,还被广泛地应用在精密测量和自动控制中。随着科学技术的进步,高内阻、高灵敏度的仪表不断出现,在许多测量场合新型仪表都可以逐步取代电位差计的作用,但电位差计采用的补偿原理和比较法是一种典型的实验方法和手段,不仅在历史上有着十分重要的意义,至今仍然是值得借鉴的好方法。

#### 【课前预习】

1. 为什么测量电动势用电压表测出的不是它的值?
2. 什么是补偿法? 它有哪些优点?
3. 十一线电位差计包含哪两个回路? 如何定标?
4. 电位差计定标后,是否可以再改变电阻箱的阻值? 为什么?

#### 【实验目的】

1. 学习补偿法在实验中的应用。
2. 掌握十一线电位差计的补偿原理及使用方法。
3. 练习用电位差计测电池电动势及电路中某一部分的电压。

#### 【实验原理】

如图 7-1-1(a)所示,若用内阻  $R_g = 1 \text{ k}\Omega$  的电压表测量  $AB$  间的电压  $U_{AB}$ ,在未接入电压表前  $U_{AB} = 3 \text{ V}$ ; 接入电压表后,  $AB$  间总电阻减少,电压重新分配,  $U_{AB}$  变为  $2.4 \text{ V}$ ,所以电压表测得的结果亦为  $2.40 \text{ V}$ 。可见,引入电压表测量时,电压表内阻会影响测量结果,内阻越小,引起的误差就越大。如图 7-1-1(b)所示,若用内阻  $R_g = 500 \Omega$  的电压表测量电源  $E$  的电动势,已知电源电动势为  $1.5 \text{ V}$ ,内阻为  $30 \Omega$ ,则接入电压表后,电源端电压变为  $U = 1.42 \text{ V}$ ,用电压表测得  $1.42 \text{ V}$  的结果,而非真正的电源电动势。在以上两例中,要获得准确的结果,要求电压表内阻为无穷大,即不从被测电路分流,但这是不可能的。因此,用电压表测量电源电动势在测量原理上存在着无法克服的缺陷。



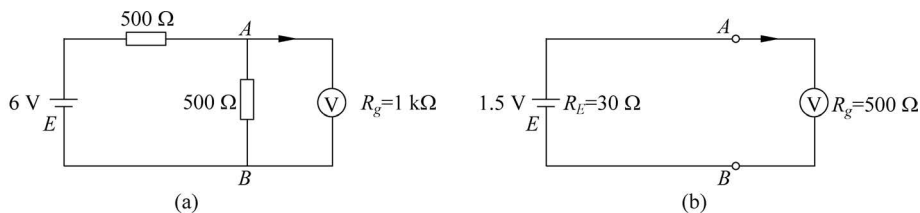


图 7-1-1 利用电压表测电阻

(a)  $R_g = 1 \text{ k}\Omega$ ; (b)  $R_g = 500 \Omega$ 

### 1. 补偿原理

电位差计是一种根据“补偿法”思想设计的测量电动势(电压)的仪器。如图 7-1-2 所示的电路中,当  $E_1 = E_2$  时,电路中无电流,通常把这种状态称为  $E_1$  与  $E_2$  相互补偿;这时就能保证测量结果( $E_1$ )与待测量( $E_2$ )严格相等,从这个效果来说,电位差计相当于一只“内阻为无穷大的电压表”。

### 2. 电位差计工作原理

电位差计所采用的基本电路如图 7-1-3 所示。它由三个基本回路构成:①工作电流回路,由工作电源  $E$ 、可变电阻  $R_1$  (用来调节回路的工作电流)、均匀电阻丝  $R_{ab}$ 、开关  $K_1$  组成;②校准回路,由标准电池  $E_0$ 、检流计  $G_1$ 、电阻  $R_{c'd'}$ 、开关  $K_2$  组成;③测量回路,由待测电源  $E_x$ 、检流计  $G_2$ 、电阻  $R_{cd}$ 、开关  $K_3$  组成。



图 7-1-2 补偿法原理图

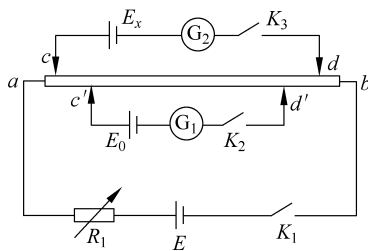


图 7-1-3 电位差计工作原理图

当闭合  $K_1$  后,将有电流  $I$  通过电阻丝  $R_{ab}$ ,并在  $R_{ab}$  上产生电压降  $IR_{ab}$ ,如再接通  $K_3$ ,可能出现三种情况:

- (1) 若  $E_x > U_{cd}$ ,  $G_2$  中有自右向左的电流(指针偏向一方);
- (2) 若  $E_x < U_{cd}$ ,  $G_2$  中有自左向右的电流(指针偏向另一方);
- (3)  $E_x = U_{cd}$ ,  $E_x$  与  $U_{cd}$  相互补偿,  $G_2$  中无电流(指针无偏转)。

设电阻丝  $R_{ab}$  的线电阻率为  $\lambda$ ,补偿时有

$$E_x = I\lambda L_x \quad (7-1-1)$$

式中,  $L_x$  为  $cd$  段电阻丝的长度。

同样,若接通  $K_2$ ,当  $E_0$  与  $U_{c'd'}$  补偿时,  $G_1$  无电流(指针无偏转),有

$$E_0 = I\lambda L_0 \quad (7-1-2)$$

式中,  $L_0$  为  $c'd'$  段电阻丝的长度。

注意到式(7-1-1)和式(7-1-2)中电流相同,联立可得

$$E_x = \frac{L_x}{L_0} E_0 \quad (7-1-3)$$

为测量不同大小的电动势(或电压),可以改变电流  $I$  值。通常把确定工作电流大小(调  $R_1$ )和接通  $K_2$  求得该电流下补偿时的  $L_0$  值的过程称为电位差计定标(或称校准);把接通  $K_3$  求得该电流下补偿时的  $L_x$  值称为测量。用电位差计测量前必须先定标(校准)。定标有两种方式,可以先确定  $I$  后再确定  $L_0$ ,也可以先确定  $L_0$  后再确定  $I$ 。

### 【实验方法】

本实验采用的是比较法和平衡法。其实质是,不断地用已知标准电动势与待测的电动势进行比较,当检流计指示电路中的电流为零时,电路达到平衡补偿状态,此时被测电动势与标准电动势相等。

在电位差计的测量过程中,电路平衡时,其标准回路和测量回路中的电流均为零,表明测量时既不从标准电路或待测电路中产生电流,也不从工作电流回路中分出电流,因而是一种不改变被测对象状态的测量方法,从而避免了测量回路的导线电阻、标准电池内阻、待测电池内阻等对测量结果的影响,使得测量结果的准确度仅取决于电阻比和标准电路中电源(电池)的电动势,因此这种方法可以达到很高的测量准确度。

### 【实验器材】

#### 1. 器材名称

十一线电位差计、饱和式标准电池、待测电池、精密稳压电源、直流电流表、直流电阻箱、指针式检流计、开关等。

#### 2. 器材介绍

##### 1) 标准电池

标准电池的电动势非常稳定,适于用作测量电位差的参照基准。普通电池的用途是对外提供能量,标准电池则是提供一个标准的电动势,因此,可以说标准电池是不对外提供电流的“电池”。

饱和式标准电池(化学原电池)的电动势  $E_0$  会随环境温度  $t$  的改变稍有变化,其经验关系式为

$$E_0(t) = E_0(20) - [4.06(t - 20) + 0.095(t - 20)^2] \times 10^{-5} (\text{V}) \quad (7-1-4)$$

式中,  $E_0(20) = 1.018\ 60\ \text{V}$ , 为  $20^\circ\text{C}$  时的电动势;  $E_0(t)$  为  $t^\circ\text{C}$  时的电动势。

##### 2) 十一线电位差计

十一线电位差计的结构如图 7-1-4 所示。电阻丝  $ab$  长  $5.500\ \text{m}$ , 往复绕在十一个插孔  $0, 0.5, \dots, 5$  上, 每两个连续标号的插孔间电阻丝长度为  $0.5\ \text{m}$ , 余下的  $0.5\ \text{m}$  拉在  $0$  与  $b$  之间。插头  $c$  可选择  $0 \sim 5$  中的任一个插孔, 用来改变电阻丝长度(粗调); 滑动端  $d$  可在  $0 \sim b$  段连续改变位置(细调), 故  $c, d$  相互配合, 可以实现  $cd$  间的电阻丝长度在  $0 \sim 5.5\ \text{m}$  间连续变化, 并借助插孔号和米尺将该长度读出。仅当插头  $c$  插入  $0 \sim 5$  中任一插孔内, 且压触键  $d$  压下时, 电路才接通, 压触键松开后电路断开。

电阻箱  $R_1$  用来调节电流  $I$ ,  $I$  由毫安表读出。开关  $K_0$  拨至  $E_0$  端可进行定标, 拨向  $E_x$  端可进行测量。

### 【实验内容】

用十一线电位差计测量待测电池的电动势  $E_x$ , 要求分别采用 5 种工作电流  $I$  进行重复测量, 并记下每次的工作电流值。

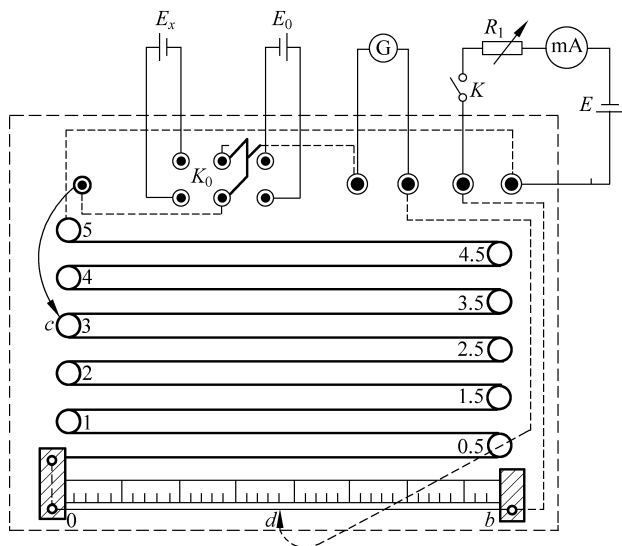


图 7-1-4 板式十一线电位差计结构图

### 1. 连接线路

参照图 7-1-4 连接实验线路。

**注意** 稳压电源、标准电池和待测电池的极性不能接错,否则,不仅不能找到补偿点还可能损坏标准电池和检流计;电阻箱预设到最大量程;连接导线时,开关处于打开状态。

### 2. 确定工作电流

闭合开关  $K$ , 观察电流表是否有偏转; 调节电阻箱改变工作电流, 使电流表显示为 25 mA。

### 3. 定标

(1) 粗调: 将开关  $K_0$  倒向  $E_0$  一侧, 插头  $c$  插入面板上 0~5 中任一插孔, 使得检流计通过电流尽可能接近零, 记录此时插孔所在长度  $L_1$ 。

(2) 细调: 保持插头  $c$  的位置不变, 连续改变滑动端  $d$  在 0~ $b$  段的位置, 直至检流计指针指零。记录此时滑动端  $d$  在米尺上的长度  $L'_1$ ,  $L_0 = L_1 + L'_1$ 。

### 4. 测量

(1) 粗调: 将开关  $K_0$  倒向  $E_x$  一侧, 插头  $c$  插入面板上 0~5 中任一插孔, 使得检流计通过电流尽可能接近零, 记录此时插孔所在长度  $L_2$ 。

(2) 细调: 保持插头  $c$  的位置不变, 连续改变滑动端  $d$  在 0~ $b$  段的位置, 直至检流计指针指零, 记录此时滑动端  $d$  在米尺上的长度  $L'_2$ ,  $L_x = L_2 + L'_2$ 。

(3) 调节电阻箱, 使工作电流  $I$  分别为 30 mA、35 mA、40 mA、45 mA, 测量不同工作电流时的  $L_0$  和  $L_x$ 。

### 【数据记录与处理】

1. 对饱和式标准电池的电动势值进行温度修正。用室内温度计测出环境温度  $t$ , 代入式(7-1-4)计算出  $E_0$ 。

2. 将由十一线电位差计测得的 5 组数据分别填入表 7-1-1, 并根据式(7-1-3)计算出  $E_x$  值。

表 7-1-1 电位差计测量数据

次 数	1	2	3	4	5
$I/\text{A}$					
$L_0/\text{m}$					
$L_x/\text{m}$					
$E_x/\text{V}$					

3. 计算  $E_x$  的平均值  $\bar{E}_x$ , 并用贝塞尔公式求其标准差 ( $s_{\bar{E}_x}$ ) 作为  $E_x$  的不确定度  $\sigma_{E_x}$ , 最后给出  $E_x$  完整的表达式。

### 【注意事项】

1. 电位差计定标后, 电路中的工作电流必须保持稳定不变, 即不可再调节电阻箱。
2. 饱和式标准电池的内阻很大, 其工作电流不能超过  $1 \mu\text{A}$ , 否则会损坏或造成其电动势永久性衰落, 因此绝不允许用它作电源给电路提供电能, 亦不允许用电压表测它的端电压, 也不允许振动和倒置。
3. 直流指针式检流计是一种高灵敏度的电流检测仪表, 使用时必须先用  $G_1$  挡粗调, 接近平衡后再使用  $G_0$  挡, 以免过流而损坏仪表。

### 【思考题】

1. 在可以补偿的前提下, 为使测得的电动势更准确, 工作电流应该调大一些还是小一些? 为什么?
2. 若在定标或测量时总是实现不了“补偿”, 可能的原因有哪些?
3. 试分析用电位差计测量  $E_x$  存在哪些误差因素。

### 【实验拓展】

补偿法有温度补偿法、光程补偿法、电压补偿法等。其中一种最新应用为无功补偿装置, 广泛适用于负载功率变化较大、对电压波动和功率因数有较高要求的石油、电力、汽车、化工、冶金、铁路、港口、煤矿等行业。

众所周知, 一般工厂低压配电都是通过厂用变压器将  $10 \text{ kV}$  变成  $380 \text{ V}$ , 然后通过低压配电系统, 给用电设备提供电源, 驱动动力设备工作的。动力设备多为感性负载, 当它投入运行以后, 将产生很大的感性电流, 这种电流不做功, 是无功电流。由于电感电流的存在使得损耗大量增加, 它的损耗大小与电感电流的平方成正比, 这些损耗在变压器及线路中转换成热量散发, 使得变压器及配电设备温度升高。这不仅会影响设备的利用率, 还会破坏设备的绝缘, 缩短设备的使用寿命, 甚至损坏设备。

无功补偿, 是一种在电力供电系统中起提高电网的功率因数、降低供电变压器及输送线路的损耗、提高供电效率、改善供电环境的技术。合理地选择补偿装置, 可以做到最大限度地减少电感电流, 从而减少能源损耗, 提高经济效益与社会效益。

## 实验 7.2 用电位差计校准电表和测电阻

磁电式电表在电学测量中得到广泛应用, 使用和携带都很方便, 但这类电表在经常使用或长期保存后, 它的各个元件参数及性能都会发生变化, 如电阻老化、磁性减弱、转动部

件的磨损等,使电表的准确度等级可能降低,因此电表需要定期进行检定或校准。如果它的误差已经超过原来预定的数值,则该电表只能降低级别,或用校准所得的校准曲线加以修正。

### 【课前预习】

1. 预习“实验 7.1 电位差计的原理与使用”,简述电位差计测量电压的原理。
2. 预习 UJ-31 型直流电位差计,熟悉其面板及各接口功能。
3. 根据给定仪器,尝试自行设计利用箱式电位差计校准电压表和测量未知电阻的方案。

### 【实验目的】

1. 训练设计简单的测量电路。
2. 了解箱式电位差计的工作原理,学会它的调整和使用。
3. 学习用箱式电位差计校准电压表和测量电阻。

### 【实验原理】

#### 1. 用电位差计校准电压表

电表校准的基本方法就是用一个标准表来校准被校表,也就是在同一电路和条件下比较标准表和被校表的指示值的差异。在校准中要求标准表的准确度等级应该比被校表至少高两个级别。如被校表为 2.5 级或 1.5 级表,则标准表可以用 0.5 级表。但如果要校准的是一个 0.5 级电表,那么标准表就应该是 0.1 级以上;如果标准表用的是 0.05 级的电位差计(如 UJ-I 型、UJ-31 型等),则几乎所有的一般实验室电表都可用它来校准。因此我们可以采用电位差计来校准电压表。

电压表本身并不能产生电势差,必须通过一个辅助电源及一套调节装置,才能使电压表有示值并发生变化。在电压表不同示值情况下,用电位差计进行精确测量,比较二者结果,进行校准。

由于电位差计的测量范围一般都不大,低电势的电位差计的量程只有几十或几百毫伏(如本实验提供的 UJ-31 型电位差计最大测量范围为  $0\sim 171\text{ mV}$ ),而电压表的量程范围很宽(本实验的待校准电压表量程为  $5\text{ V}$ ),因此无法直接用电位差计校准电压表。

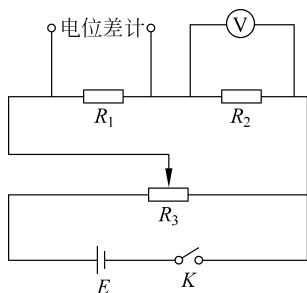


图 7-2-1 校准电表电路图

为了扩大电位差计校准电压表的范围,必须进行“量程扩充”。所设计的校准电压的电路如图 7-2-1 所示。图中  $R_1$ 、 $R_2$  为电阻箱,  $V$  为被校电压表。电位差计的待测端接至  $R_1$  两端,被校电压表的待测端接至  $R_2$  两端。为使电压表可在  $0\sim 5\text{ V}$  范围连续变化,同时 UJ-31 型电位差计的示值也可相应地在  $0\sim 171\text{ mV}$  范围内连续变化,应有

$$R_1 : R_2 = 171 : 5000 \approx 1 : 29.2$$

则可取  $R_2 = 30R_1$ 。 $R_1$ 、 $R_2$  设定好阻值后即定为定值电阻。这种扩大电位差计测量范围的方法称为“量程扩充”。

同时,为使电压表示值能够在  $0\sim 5\text{ V}$  范围内连续变化,需采用“分压”装置,即将  $R_1$ 、 $R_2$  所在回路通过滑动变阻器  $R_3$  作为电路的一条支路。如此,调节滑动变阻器,就能实现  $R_2$  两端电压的连续变化。

设被校电压表示值为  $U_{2示}$ , 电位差计读数为  $U_1$ , 则实际电压表的压降  $U_2$  为

$$U_2 = \frac{R_2}{R_1} U_1 \quad (7-2-1)$$

电压表的偏差为

$$\Delta U = U_2 - U_{2示} \quad (7-2-2)$$

## 2. 用电位差计测量未知电阻

实验前, 计算  $R_x$  允许通过的最大电流  $I_{max}$ , 为避免电阻在测量过程中发热, 常取  $I_{max}/5$  为最大工作电流。

设计电路如图 7-2-2 所示。将一已知电阻  $R_0$  与待测电阻  $R_x$  串联, 当稳恒电流流过两电阻时, 用电位差计分别测出  $R_0$  和  $R_x$  两端的电压  $U_0$  和  $U_x$ , 便可得到待测电阻  $R_x$  的阻值为

$$R_x = \frac{U_x}{U_0} R_0 \quad (7-2-3)$$

$R_0$  的阻值和电流大小要选择合适的, 除考虑电位差计的量程和电阻的额定电流外, 应尽可能使得测量结果有较高准确度。

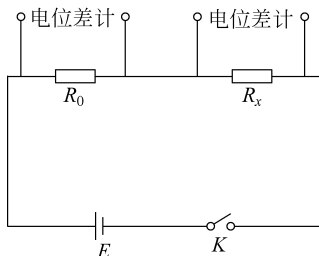


图 7-2-2 测电阻电路图

### 【实验方法】

本实验中, 电位差计测量电压采用的是平衡法。其实质是, 不断地用已知标准电动势与待测的电动势进行比较, 当检流计指示电路中的电流为零时, 电路达到平衡补偿状态, 此时被测电动势与标准电动势相等。

在校准电表、测量电阻的过程中, 通过和标准电阻进行比较, 从而获得待测电表的电动势或未知电阻的电阻值, 因此它也属于比较法。

### 【实验器材】

#### 1. 器材名称

UJ-31 型直流电位差计、ACI5/4 型直流复射式检流计、饱和式标准电池、直流稳压电源、滑线电阻器、电阻箱 2 个、待校电压表(量程 5 V)、被测电阻(约 1 k $\Omega$ , 1/4 W)、开关、导线等。

#### 2. 器材介绍

本实验所用的 UJ-31 型电位差计是一种便携式箱式直流电位差计, 所需的工作电源和标准电池均装在箱内, 一般无须外接, 标准电池也可外接。其面板布置如图 7-2-3 所示。工作电源电压为 5.7~6.4 V, 工作电流为 10 mA。测量范围分为两挡: ①在“ $\times 10$ ”挡为 0~171 mV, 游标尺最小分辨力值为 1  $\mu$ V; ②在“ $\times 1$ ”挡为 0~17.1 mV, 游标尺最小分辨力值为 0.1  $\mu$ V。

### 【实验内容】

#### 1. 给电位差计定标

(1) 将测量选择开关  $K_2$  指示在“断”位置, 按钮全部松开。

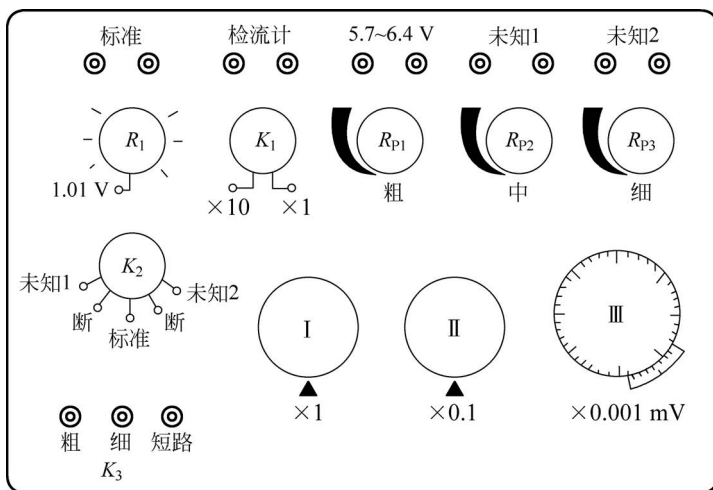


图 7-2-3 UJ-31 型直流电位差计面板图

(2) 按面板上端接线柱的极性,分别给“标准”接上饱和式标准电池、“检流计”接上直流复射式检流计、“5.7~6.4 V”接上稳压电源。

(3) 根据温度修正公式(7-2-4)计算室温下的饱和式标准电池电动势,并将电位差计面板上的  $R_1$  开关设置为计算值。即

$$E_t = E_{20} - [4.06(t - 20) - 0.095(t - 20)^2] \times 10^{-5} \quad (7-2-4)$$

式中,标准电池电压  $E_{20} = 1.01860 \text{ V}$ ;  $t$  为室内温度值。

(4) 将量程选择开关  $K_1$  指示在“ $\times 10$ ”位置,测量选择开关  $K_2$  指示在“标准”位置。

(5) 按下工作电流调节开关  $K_3$  “粗”按钮,调节工作电流调节盘  $R_{P1}$ 、 $R_{P2}$  使检流计指零。松开“粗”按钮,按下“细”按钮,调节  $R_{P2}$ 、 $R_{P3}$  使检流计指零。若短促地按下“短路”,可进一步细调。

**注意** 电位差计定标后,切勿再调节  $R_{P1}$ 、 $R_{P2}$ 、 $R_{P3}$ ,直至实验结束。

## 2. 用电位差计校准电压表

(1) 按照电路图(图 7-2-1)连接电路。设置电阻箱  $R_1 = 100 \Omega$ ,  $R_2 = 3000 \Omega$ 。电阻箱  $R_1$  的两端接在电位差计的“未知 1”或“未知 2”接线柱上。

(2) 将测量选择开关  $K_2$  转至“未知 1”或“未知 2”的位置(选择取决于  $R_1$  所接位置)。

(3) 闭合开关  $K$ ,检查电压表是否有偏转。

(4) 调节滑动变阻器使得电压表示值  $U_{2\text{示}}$  为 5 V。

(5) 按下“粗”按钮,调节读数盘 I、II 使检流计指零。松开“粗”按钮,按下“细”按钮,调节 II、III 使检流计指零。读数盘 I、II、III 的示值乘以相应的倍率后相加,再乘以  $K_1$  所用的倍率,即为  $R_1$  两端被测电动势  $U_1$ 。

(6) 调节滑动变阻器,使待校电压表的示值  $U_{2\text{示}}$  分别为 4 V、3 V、2 V、1 V。重复步骤(5),测量不同示值电压时的  $U_1$ ,并记录相应的电压表读数  $U_{2\text{示}}$  和电位差计读数  $U_1$ 。

## 3. 用电位差计测未知电阻

(1) 定标。若校准电表时已定标,则测量电阻时无须再次定标。

(2) 测量。按图 7-2-2 连接电路,设置  $R_0 = 1000 \Omega$ 。先将电位差计连接至  $R_0$  两端,测

量  $R_0$  两端电压  $U_0$ , 再将电位差计移至  $R_x$  两端, 测量  $R_x$  两端电压  $U_x$ , 并记录相应的值。

(3) 仪器使用完毕后, 将量程选择开关  $K_2$  置“断”的位置。检流计置“短路”。 $K_3$  处于松开状态。

### 【数据记录与处理】

#### 1. 用电位差计校准电压表

(1) 将测量数据填入表 7-2-1。

表 7-2-1 校准电压表数据

次数	1	2	3	4	5
$U_{2示}/V$					
$U_1/mV$					
$U_2/V$					
$\Delta U/V$					

(2) 计算电压表的标准值  $U_2$  与指示值  $U_{2示}$  的差值, 即为修正值  $\Delta U$ 。

(3) 以指示值  $U_{2示}$  为横坐标, 修正值  $\Delta U$  为纵坐标作校准曲线(折线)。

(4) 求出被校准电表的等级, 计算方法如下:

$$\text{电表等级} \geq (\text{最大示值误差} / \text{量程}) \times 100$$

式中, 最大示值误差是在所测量的数据中, 电压表标准值与指示值的差值中最大的一个数值。我国国家标准规定电表等级为 0.1, 0.2, 0.5, 1.0, 1.5, 2.5, 5.0 (共 7 级), 若用上式计算的结果为 1.23, 则此电表属于 1.5 级。等级数越小, 其测量精度越高。

#### 2. 用电位差计测未知电阻

(1) 将测量电阻数据填入表 7-2-2。

表 7-2-2 测量电阻数据

$R_0/\Omega$	$U_0/V$	$U_x/V$

(2) 计算未知电阻的阻值  $R_x$ 。

### 【注意事项】

1. 为了使被校准电流表校准后有较高的准确度, 电位差计与标准电阻的准确度等级必须比被校电表的级别高得多。

2. 饱和式标准电池只能短时间通过小于  $1 \mu A$  的电流, 否则将影响标准电池的寿命直到造成永久性电动势衰落。所以, 使用  $K_3$  时要短促, 以保护标准电池。

### 【思考题】

1. 测量电阻时, 是否一定要先定标再测量? 为什么?
2. 如果待测电压大于电位差计的量程, 在不影响测量精度的情况下应该采取什么措施?
3. 尝试设计用电位差计校准电流表。
4. 测量标准电阻的实验过程中, 若标准电阻  $R_0$  和未知电阻  $R_x$  的额定功率都是  $1/4 W$ , 标准电阻  $R_0$  的阻值应取为多大, 才能保证其不被烧毁, 并可以尽可能地提高测量

的精度?说明依据。

## 实验 7.3 数字万用表的设计、制作与校准

数字电表具有显示直观、准确度高、分辨率强、功能完善、性能稳定、体积小易于携带等特点,在科学研究、工业现场和生产生活中得到了广泛应用。数字电表工作原理简单,理解并利用它来设计对电流、电压、电阻、压力、温度等物理量的测量,有利于提高动手能力和解决问题能力。

### 【课前预习】

1. 数字电压表头测量电压的原理是什么?
2. 将数字电压表头改装为多量程的数字直流电压表的原理是什么?
3. 将数字电压表头改装为多量程的数字直流电流表的原理是什么?
4. 将数字电压表头改装为多量程的数字电阻表的原理是什么?

### 【实验目的】

1. 了解数字电表的基本原理和特性。
2. 掌握数字电表的校准方法和使用方法。
3. 设计数字万用表(即多量程数字电压、电流和电阻表)。
4. 了解交流电压和二极管相关参数的测量。

### 【实验原理】

#### 1. 数字电表原理

常见的物理量都是幅值大小连续变化的模拟量,指针式仪表可以直接对模拟电压和电流进行测量并显示。而对于数字式仪表,需要把模拟电信号(通常是电压信号)转换成数字信号,再进行显示和处理。

数字信号与模拟信号不同,其幅值大小是不连续的,即数字信号的幅值大小只能是某些分立的数值,所以需要进行量化处理。若最小量化单位为 $\Delta$ ,则数字信号的大小是 $\Delta$ 的整数倍,该整数可以用二进制码表示。设 $\Delta=0.1\text{ mV}$ ,我们把被测电压 $U$ 与 $\Delta$ 比较,得出 $U$ 是 $\Delta$ 的多少倍,并把结果四舍五入取为整数 $N$ (二进制)。一般情况下, $N\geq 1000$ 即可满足测量精度要求(量化误差 $\leq 1/1000=0.1\%$ )。所以,最常见的数字表头的最大示数为1999,被称为三位半( $3\frac{1}{2}$ )数字表。如 $U$ 是 $\Delta(0.1\text{ mV})$ 的1861倍,即 $N=1861$ ,显示结果为186.1(mV)。这样的数字表头,再加上电压极性判别显示电路和小数点选择位,就可以测量显示 $-199.9\sim 199.9\text{ mV}$ 的电压,显示精度为 $0.1\text{ mV}$ 。

本实验使用的数字电表是一个三位半数字电压表头,其显示的是一个比值,即

$\frac{U_{\text{IN}}}{U_{\text{REF}}/1000}$ ,其中, $U_{\text{IN}}$ 是测量电压, $U_{\text{REF}}$ 是参考电压。当 $U_{\text{IN}}=U_{\text{REF}}$ 时显示“1000”, $U_{\text{IN}}=0.5U_{\text{REF}}$ 时显示“500”,依次类推,这称为比例读数特性。实际使用中,若取参考电压为 $100\text{ mV}$ ,则可以测量的最大输入电压为 $199.9\text{ mV}$ ;若取参考电压为 $1\text{ V}$ ,则最大输入电压为 $1.999\text{ V}$ 。