

上海电视大学物理系試用教材

电磁学实验讲义

华东师范大学物理系业余教育教研室蔡根茂編

上海电视大学

目 录

实验一	静电场研究	1
实验二	万用电表	4
实验三	惠斯登电桥.....	15
实验四	电位计.....	23
实验五	用聚焦法测定电子荷质比.....	29
实验六	简单交流电路研究及测定电容和自感.....	35

实验一 静电场研究

目的

定性地测绘静电场的等位面 and 电力线。

原理

电荷所在的空間是具有一定的物理性质的，这种物理性质首先表现在这空間的任何其它电荷都要受到力的作用，若只研究静止电荷的话，则我们把这样的空間叫做静电场。在静电场中某一点场强的大小等于作用于放在该点的单位正电荷上的力，而其方向和这力的方向相同，因此静电场中的每一点都可以用一场强矢量 $\mathbf{E}$ 来表示，它是表征静电场中给定点客观性质的物理量。这场强分布也可应用电力线来表示，即电力线上每一点的切线方向是与该点场强方向一致的，电力线仅表示场强的方向，它本身不表示场强的大小，但可以用电力线的密和疏来表征场强的大小，这样应用电力线来描绘静电场中各点场强的分布情况，使对静电场的理论的理解更加形象化了。

除了上述应用电场强度来描述静电场中各点的特性外，我们还可应用静电场的电位这个物理量来描述。静电场的电位是一个逐点变化的函数，但在任何实际情形中都能分出一个各点电位相同的点集，这些电位相同的点的轨迹，叫做等位面。并在理论上可以证明，场强矢量 $\mathbf{E}$ 都是垂直于等位面的，亦即电力线是一个和等位面族正交的线族。所以实验时只要先测定了等位面的位置，然后作出与等位面正交的电力线，由此静电场的特

性定性地表征出来了。

在实际测量靜电场中各点的电位或場强，現在我們还没有适当的仪器較方便地去測定。因此在我們的实验中不是研究真正的靜电场，而是准靜电场，所謂准靜电场是一个具有恒定电流的电場或頻率不高的交变电場、即类稳电流的电場，就其結構的形式來說是和靜电场相同的。

本实验是采用导电槽来研究靜电場的，以两金属导体作为电极，在两极之間放置均匀的导电溶液，当两极上加一电压后，电流流过溶液，但因电流通过的是均匀的导电溶液，它的内部沒有体电荷的堆积，所以在两金属电极間的电場强度与两电极負靜电荷时的靜电场分布情况是一样的。又为了避免因溶液电解而引起的电极极化，使溶液导电率均匀性的破坏，所以在两极上加音頻交变电压，这样虽然改变了两极的电位差，但等位面和电力綫的形状并不改变，随之改变的仅是各等位面的电位标

度，在同一等位面上各点改变的数值大小是相等的，因此这样并不影响我們測定的結果。等位面的确定是应用两只金属探針，在两針間联接一只耳机作为指示器，如图(1-1)所示，当两探針落在同一等位面上时，在耳机中无电流通过，所以无响音。若两电极上加的是直流电压，則在两探針間应联接一只电流計作为指示器，当两探針落在同一等位面上时，在电流計中无电流通过。

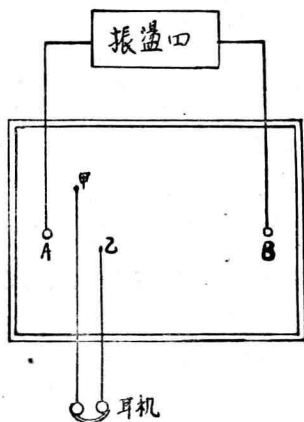


图 1-1

仪器

导电槽(槽底附有坐标纸),水准仪,针状和平板状的二对电极,金属探针一对,金属环一只,电源(蓄电池或音频振荡器),指示器(电流计或耳机),溶液(水或 NaCl 溶液)。

步骤

1. 用水准仪校正导电槽的水平位置。
2. 按图(1-1)联接线路
3. 将溶液倒入导电槽,并把电极放在指定的位置 A, B 处,同时在自备的坐标纸上记下 A, B 的位置。
4. 接通电源,将探针甲固定在 A 极右方一厘米处,然后在槽面上移动探针乙,使指示器中无电流通过时记下此点的位置,这样较均匀的测定几点(使能够描绘等位面)。
5. 将探针甲固定在 A 极的右方 2、3、4……厘米处,作同样的探测。
6. 由上述测定的点子,并按其对称性分布,画出整个槽面上的等位面,然后在每个象限中至少画出二条电力线。
7. 在槽中放入一只金属环后,再作同样的测绘。
8. 换取另一形状的电极,作同样的测绘。

注意

探测点子的间距应依等位线的曲率大小来决定,曲率大的要选得密些,曲率小的点子可选得稀些,至于探测范围应以导电槽的边为界。

實驗二 万用电表

目的

1. 了解万用电表的各个組成部分的基本原理并学会其使用。
2. 学会将电流計改装成有不同量度范围的安培計、伏特計和欧姆計的方法。
3. 学会校准电表的方法。

原理

(一) 万用电表的一般介紹：

万用电表可以用来测量电学中电流、电压和电阻三个基本物理量(有的万用电表还可以用来测量电感和电容)；所以万用电表在实验工作中经常使用的一种仪器。万用电表的形式虽然較多,似为复杂,但其板面不外乎有下面几个部分组成：

1. 电流計：在电流計的面板上直接刻有电阻、直流毫安和交直流电压等量值的刻度。
2. 选择旋扭：旋扭上刻着电阻(Ω)、直流(—)、交流($\sim$)、毫安(mA)、伏特(V)等符号,欲測定哪一种物理量,就把旋扭旋向所指的符号。
3. 量程范围的大小：是刻在选择旋扭上或旁边,使用时把它旋向所要测量范围的量程上,在电阻量程旁边有 $\times 1$ 、 $\times 10$ 、 $\times 100$ 和 $\times K$ ($K=1000$) 等数字,它是表明电流計指針所指的讀数要乘的倍数。

4. 电阻零点调节旋扭：是用它来调节电阻零点的（即在改变电阻量程时，使两校棒短路调节指针零点用的）。

（二）万用电表的基本原理：

万用电表是由一只电流计或微安计及一些适当的电阻元件组合起来的，并利用一个多掷开关可以随时改换成各种量程的毫安计、伏特计和欧姆计等。

1. 直流毫安计 直流毫安计是用来测定电路中的电流强度的，测量时将毫安计串联在电路中的，为了使电路中的实际电流强度不受串联的影响，因此毫安计是由一电流计并联上一个低电阻 R_s 改装而成，如图 2-1 所示。如取不同阻值的 R_s ，则有不同量程范围的毫安计。

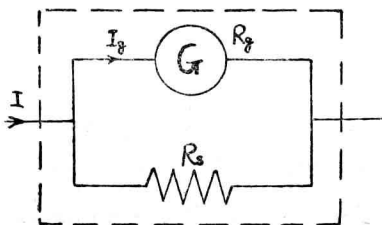


图 2-1

设电流计本身最大量程为 I_g ，内阻为 R_g ，要改装成毫安计的最大量程为 I ，那末 R_s 数值由下式来决定，由（图 2-1）知道：

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

所以

$$R_s = \frac{I_g R_g}{I - I_g} \quad (2.1)$$

2. 直流伏特计 伏特计是用来测量电路中两点间的电位差的，测量时将伏特计并联在这两点间的电路上，为了使原电路中的电流强度和电位差不致于因为伏特计的引入而有很大的改变，因此伏特计是由一电流计串联一高电阻 R 所构成的，如

(图2-2)所示。如取不同阻值的 R 則有不同量程范围的伏特計。

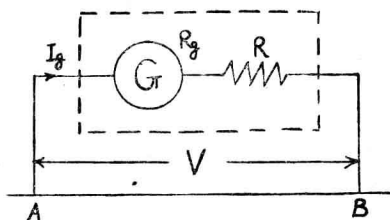


图 2-2

設电流計本身最大量程为 I_g , 內阻为 R_g , 要改装成最大量程为 V 的伏特計, 那末 R 的数值由下式来决定,

$$V = I_g (R_g + R)$$

所以

$$R = \frac{V - I_g R_g}{I_g} \quad (2.2)$$

3. 欧姆計 欧姆計是用来測量未知电阻 R_x 数值的, 它是由一电流計, 恒定电压的电池 E_b 和一附加电阻 R_f 串联起来构成的, 如(图2-3)所示。通过电流計的电流强度可由欧姆定律得:

$$I = \frac{E_b}{R_g + R_f + R_x} \quad (2.3)$$

附加电阻 R_f 数值决定:

設电流計本身的最大量程为 I_g , 使 $R_x = 0$ 时, $I = I_g$, 这样由(2.3)式得到

$$R_f = \frac{E_b}{I_g} - R_g \quad (2.4)$$

于是欧姆計总內阻 $R_f + R_g$ 的数值亦为确定。此时由(2.3)式知道:

$$\text{当 } R_x = R_f + R_g \text{ 时, 則 } I = \frac{1}{2} I_g,$$

即电流計的指針指在中間, 因此这时 R_x 的数值称为欧姆計的中

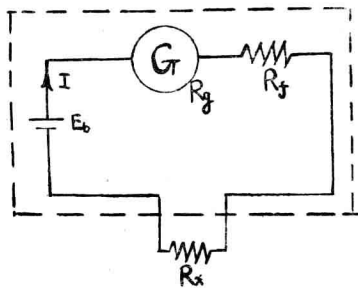


图 2-3

值,它是一个非常重要的数值,因为欧姆计的刻度是以中间刻度为标准的,若中值确定后,其他的标度位置都可由(2.3)式来定出刻成板面。

在上述讨论过程中,都是假定 E_b 在恒定的条件下进行的,而一般情况下,电池的输出电压都是随着使用时间逐渐地降低,使电流逐渐地减小,这样会使板面刻度上的读数值比实际值要小,所以我们在每次使用欧姆计时必须要进行零点的调整,但按(图 2-3)的线路来看要使电流不减小维持设计时的数值,则必须调整 R_f ,但 R_f 减小后直接影响到中值改变,这样使板面刻度数值不符,因此(图 2-3)的线路是不能满足我们要

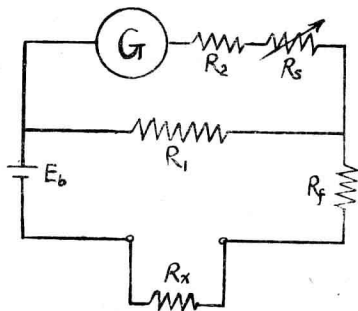


图 2-4

求的,这样就需要改用(图 2-4)的线路,在(图 2-4)中容易看出, R_f 值的改变对通过电流计的电流大小数值的变化是显著的,但对欧姆计总内阻数值影响不大,所以能够基本上保持中值的不变。交流电压的测量在万用电表内是利用了半导体整流器,使交流电转变成直流电后再用上述的直流伏特计线路来测定之。

仪器及其描述

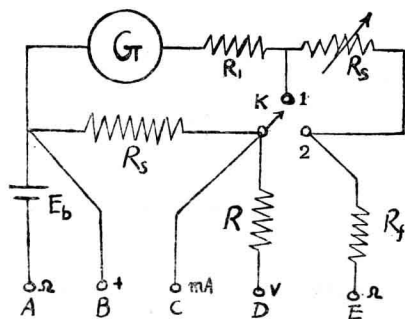
伏特计,毫安计,电阻箱,滑线电阻,电键,508 型万用电表(使用方法见附录),改装的万用电表,改装的万用电表是安装在一块板面上;它的线路如(图 2-5)所示。它的量程范围和欧姆计的中值都标明在板面上。(图 2-5)中 K 是一单刀双掷电键,当用来测量电流或电压时,将 K 与(1)接通,测量电阻时将 K 与

(2) 接通, $ABCD E$ 是五个接线柱, 用 BC 两接线柱是测量电流的, 用 BD 两接线柱测量电压的, 用 AE 两接线柱测量电阻的, R_s 为电阻零点的调整。

步骤

注意 实验过程中线路必须经教师检查过后, 才能接电源。

1. 核对线路: 将图 2-5 的线路与板面上的实际线路 校核一下, 并记下各电阻的数值。在此同时必须进一步的弄清楚每一元件在电路中的作用。



附 2-5

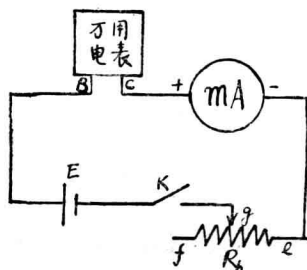


图 2-6

2. 作毫安计的定标曲线:

i. 连接线路如(图 2-6)所示, 图中 BC 为万用电表上的 BC 两接线柱, mA 为标准毫安计, E 为蓄电池, K 为电键, R_h 为滑线电阻作限流电阻用(实验开始前应使电阻有最大值, 即将滑动头 g 点移到 f 点附近, 当接上电源后, 再渐渐减小电阻, 直到所须的数值为止)。

ii. 按下 K , 逐渐调节 R_h 使毫安计达到 $I_1, I_2, \dots, I_7$ 和 I_8 毫安时 ($I_1, \dots, I_8$ 数值标在万用电表的板面上) 分别记下万用电表上的相应读数。

iii. 作出万用电表中毫安計部分的定标曲线，横坐标为万用电表上的读数，纵坐标为标准毫安計的读数。

3. 作伏特計的定标曲线：

i. 连接线路如(图 2-7)所示，图中 V 为标准伏特計，滑綫电阻 R_h 现作为分压器使用(在实验开始前应将滑动头 g 移到 f 点附近，使分压最小，当接上电源后，再渐渐向 e 方向移动，使綫路中的电压逐渐增加直到所須的数值为止)。

ii. 按下 K ，逐渐调节 R_h 使伏特計达到 $V_1, V_2, \dots, V_7$ 和 V_8 伏特时，分别記下万用电表上的相应读数。

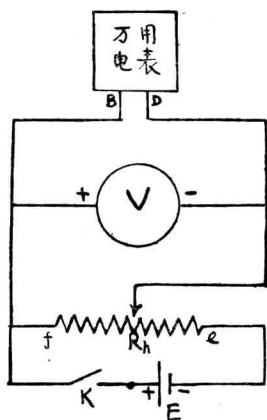


图 2-7

iii. 作出万用电表中伏特計部分的定标曲线，横坐标为万用电表上的读数。纵坐标为标准伏特計的读数。

4. 作欧姆計的定标曲线：

i. 连接线路如(图 2-8)所示，图中 R 为电阻箱作为标准电阻用。

ii. 請学员自己考虑如何作出欧姆計的定标曲线。

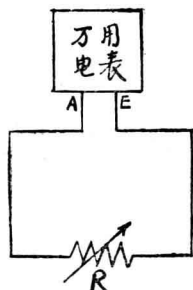


图 2-8

5. 利用 508 型万用电表测量电阻、电池的路端电压和实验室的交流电源电压大小，使用电表前必須仔細的閱讀附录說明，搞清每个旋扭的作用，及各个量程的使用方法，当

学员在心中有数后，方可动手进行作以上的测量。

附录 508型万用电表的测量范围及使用方法

一、测量前应注意事项：

1. 使用前須注意指針是准指零点，否則可調整表壳上的零位調整器。
2. 使用前請先詳細閱讀下面的使用方法，待确实了解后再行使用。
3. 使用前应注意校棒是否有碎裂，胶质接綫是否有損裂处，以保証使用安全。
4. 使用前应注意旋扭指示值，是否在你所欲測量之範圍上。
5. 選擇測量範圍时，应选欲測数值小于并接近滿刻度值之測量範圍(如測量 220V 时選擇 250V 擋不应造 500V 擋)，以保証測量之准确性。
6. 如不知被测电路之大小，应先将選擇开关旋至最高擋，再逐擋下降，以免仪表綫路超載而損坏。
7. 除測量 2500 V 及輸出电平时，將校棒插在“-”及“2500 V”或“輸出”专用插口外，其他各擋測量时，皆可將校棒插在“+”“-”两插口內。
8. 測量 2500 V 时，应另选絕緣耐压較高之校驗棒。并应謹慎从事，采用一手操作，以保証測量时之安全。
9. 在未知綫路的交直流时，可先将校驗棒插在“輸出”“-”两插口內旋扭指示交流，电压为 500 V 擋，如指針有偏轉現象表示为交流，否則为直流，待确定交直流后再进行測量。

二、直流电流之測量：

1. 測量範圍：

0—250 μ A—1 mA—10 mA—100 mA—500 mA

2. 刻度：以表面第二條刻度為讀數。

3. 使用方法：

a. 將校棒插在“—”“+”兩插口內注意正負極。

b. 將左面旋扭指示在“直流電流”處。

c. 將右面旋扭指示到大于或等于你欲測之直流電流範圍處。

d. 將校棒串接到電路中即可得到欲測讀數。

4. 注意事項：不可直接跨接到電路二端及過荷測量以免燒毀電表。

三、直流電壓之測量：

1. 測量範圍：

0—10 V—50 V—150 V—250 V—500 V—2500 V

2. 刻度：以表面第二條刻度為讀數。

3. 使用方法：

a. 將校棒插在“—”“+”兩插口內，注意正負極。

b. 將左面旋扭指示在“直流電壓”處。

c. 將右面旋扭指示在大于或等于你欲測之電壓範圍處。

d. 將校棒跨接電路二端，即可得到欲測讀數。

e. 測量 2500 V 時將校棒插在“—”“2500 V”兩插口內左面旋扭指示在“直流電壓”處右面旋扭可指示在任意處。

4. 注意事項：測量時宜注意欲測電壓之範圍，切勿將高電壓加于低電壓之測量檔上，同時須注意測量時之安全！

四、交流电压之測量： $2000\Omega/V$

1. 測量範圍：

0—10 V—50 V—150 V—250 V—500 V—2500 V

2. 刻度：0—50V—150V—250V—500V—2500V 以表面第二条刻度为讀数。

0—10 V 以表面第三条刻度为讀数。

3. 使用方法：

a. 将校棒插在“—”“+”两插口內。

b. 将左面旋扭指示在“交流电压”处。

c. 将右面旋扭指示在大于或等于你欲測之电压範圍处。

d. 将校棒跨接电路二端，即可得到讀数。

e. 測量 2500 V 时将棒插在“—”“2500 V”两插口內，左面旋扭指示“交流电压”处右面旋扭可指示在任意处。

4. 注意事項：

a. 測量前宜選擇与欲測数值接近之測量範圍(見注意事項第 5 条)因刻度使用範圍为 20%—100%。

b. 由于氧化銅之負温度系数較大，在綫路中虽略有补偿，但使用时仍应注意周圍室温是否在 $+10^{\circ}\text{C}$ — $+30^{\circ}\text{C}$ 間，否則应另加附加誤差，温度愈高讀数較实际为小(即实际 220 V 指示为 215 V)。

c. 測量时宜注意安全操作！

五、直流电阻之測量：

1. 測量範圍：中值 10Ω

$R \times 1 (0-2 \text{ K}\Omega)$, $R \times 100 (0-200 \text{ K}\Omega)$,

$R \times 10 (0-20 \text{ K}\Omega)$, $R \times 10 \text{ K} (0-20 \text{ M}\Omega)$,

2. 刻度：以表面第一条刻度为读数。

实际测量值等于表面指示值乘右面旋扭指示倍数。

3 使用方法：

1) 将校棒插在“-”“+”两插口内。

2) 将左面旋扭指示在“直流电阻”处。

3) 将右面旋扭指示在欲测欧姆之范围档。

4) 将校棒短路指针即自 $\infty \rightarrow 0$ 点，调 R. L. C. 调整旋扭，使指针准指 0Ω 处。

5) 将校棒接测电阻两端，即可得到读数。

4. 注意事项：

1) 选择测量范围时，应选愈接近中心值档，愈准确，(如测量 1500Ω 时，可选择 $R \times 100$ 档，不要选 $R \times 10$ 档)。

2) 测量线路内绝对不能带电，否则将使仪表造成无可挽救之损坏。

3) 测量时校棒“+”输出为负，校棒“-”输出为正与实际相反，尤其在测量电容器漏电时更应注意。

4) 测量 $R \times 1$ 档时，因内部消耗电流较大，应尽量缩短测量时间以增加电池之使用期限。

六、电容、电感之测量：

1. 测量范围：电容 $0.0001-0.1\text{MFD}$ 。

电感 $100\text{H}-10\text{KH}$ 。

2. 刻度：电容以第四条刻度为读数。

电感以第五条刻度为读数。

3. 使用方法：

a. 将校棒插在“+”“-”两插口内。

- b. 将左面旋扭指示到“电容电感”处。
 - c. 将右面旋扭指示到“电容电感”(C. L.)处。
 - d. 在 L. C. 电源两插口上接入 200—240 V 交流电源。
 - e. 将校棒短路，調整 R. L. C. 調整旋扭，使指針准指 ∞ (电容)或 0 (电感)处。
 - f. 将校棒接于欲測物二端，即可得到讀数。
4. 注意事項：
- a. 測量电容时，应注意有无漏电現象否則将影响讀数。
 - b. 測量电感时应注意其耗阻，过大能影响讀数。
 - c. 对电解质电容器本表不能測量。
 - d. 測量时宜注意安全！
 - e. 本档讀数在測量时因受上述漏电，耗阻，及其他因素影响皆可增加誤差。

实验三 惠斯登电桥

目的

1. 应用惠斯登电桥来测量未知电阻及电流计的内电阻。
2. 验证电阻串联和并联公式：

原理

惠斯登电桥是用比较的方法来测定电阻的仪器，其构造如(图 3-1)所示。 AC 为一均匀的拉紧金属电阻线，其两端分别与

电池 E 的正负极相接， AB 间为我们所要测定的未知电阻 R_x ， BC 间为一可变已知的标准电阻， G 为电流计，其一端固定在 B 点，另一端接到可以在 AC 线上滑动的接头 D 上。在这分支电路中，我们可以看到电流 I 从

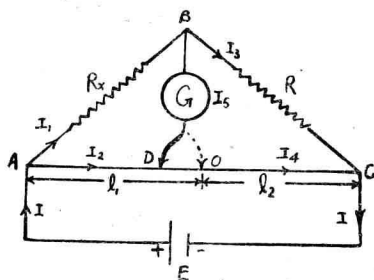


图 3-1

电源的正极流出，到了分支点 A 就分成两支；一支 I_1 流过 R_x ，另一支 I_2 流过 AD 线。设通过 G 、 R 及 DC 各段的电流分别为 I_5 、 I_3 及 I_4 。在实验时，将 R 调定一适当数值后，把滑动接头 D 在 AC 线上移动（即是改变 AD 和 DC 这两段电阻 r_1 和 r_2 的比值）达到了某一位置 O 时，使电流计 G 的指针没有偏转，即 $I_5=0$ ，此时就称为电桥平衡。就是 B 点及 O 点的电位相等，亦即 AB 和 AO 上的电位降落相等， BC 和 OC 上的电位