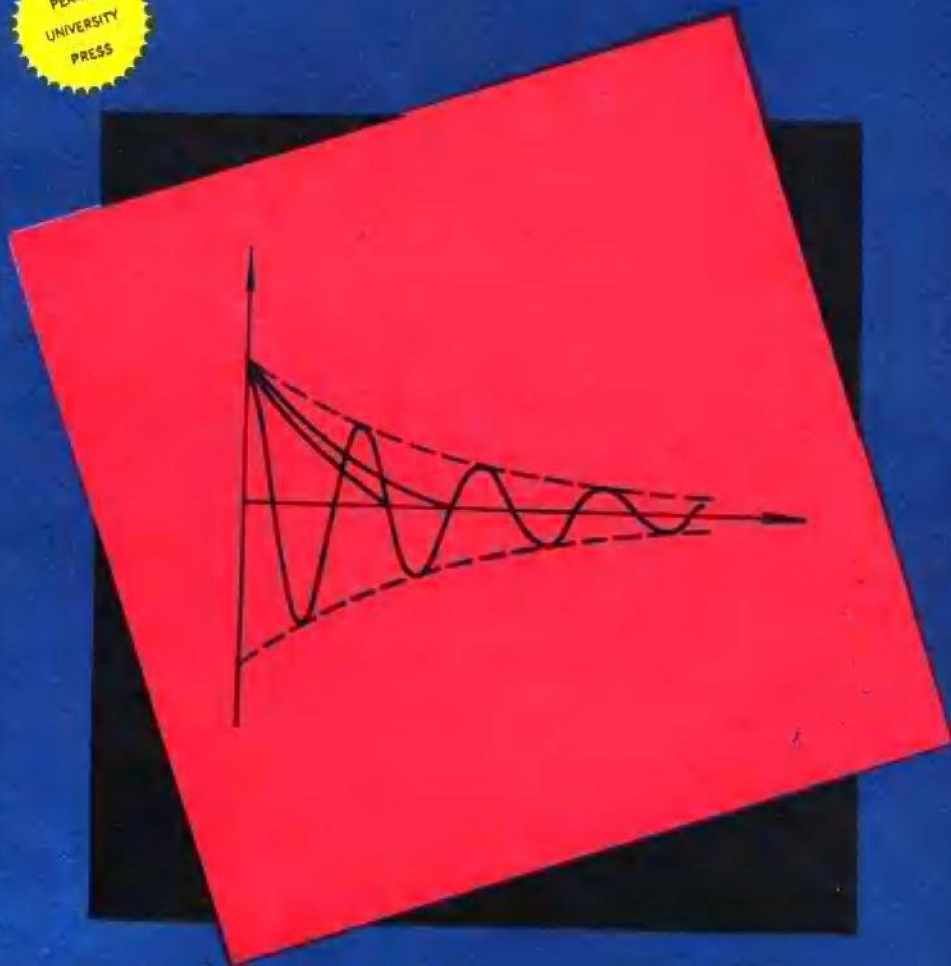


# 电磁学实验

张洁天 朱世嘉 编  
梁秀慧 谢慧媛



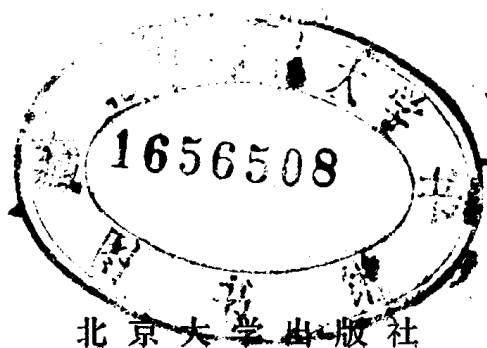
北京大学出版社

北 京 大 学 教 材

# 电 磁 学 实 验

张洁天 朱世嘉 梁秀慧 谢慧琰 编

101/59/27



新登字(京)159号

### 内 容 简 介

本书是在北京大学多年使用的教材基础上改写而成的,包括直流电、交流电、磁测量等几方面实验,其中有一些是反映科学技术发展的新实验。全书共有38个实验,分基本实验、选做实验和设计实验,在大部分实验中安排了选做内容、思考题和小设计题。

本书可作各类高等院校理工科各专业电磁学实验课程的教材,也可供其他有关人员参考。

### 电 磁 学 实 验

张洁天 朱世嘉 梁秀慧 谢慧瑗 编

责任编辑:瞿 定

\*

北京大学出版社出版发行

(北京大学校内)

北京大学印刷厂印刷

新华书店经售

\*

787×1092毫米 16开本 9.125印张 220千字

1993年1月第一版 1993年1月第一次印刷

印数: 0001—5,000册

ISBN 7-301-02047-3/O·308

定价: 6.80元

## 前 言

本书是在北京大学原有教材基础上改写而成的。书中实验都是我校多年教学实践中采用过的。对于基本实验，在强调基础训练的同时，本书注意了充实、丰富实验内容，实验原理力求简明扼要，实验步骤不过于细致具体，使学生有更多独立思考和动手操作的机会。近年来，中学物理实验水平有所提高，为贯彻因材施教的原则，我们在大部分实验中安排了选做内容、思考题和小设计题，以增加实验的难度，提高学生的兴趣，有利于提高学生的实验能力。为了反映现代科学技术的发展，我们增加了一些新内容，使学生可以初步了解一些新的实验仪器、方法和测试手段，以开阔学生眼界。对于设计性实验，书中只给出实验要求、仪器及必要的提示，要求学生自己写出实验原理、设计电路、实验步骤，并通过实践检验。这对培养学生综合利用所学过的知识和技能去分析问题、解决问题是很有好处的。

基础实验课是一项集体的事业。每一个实验的设计、实现、改进，以及此教材的蓝本——实验讲义的每一次修改、充实、提高，无不是实验室全体同志多年辛勤劳动的结果。30多年来，先后有数十位同志在这一教学岗位上辛勤工作、奉献。对此，我们谨致以衷心的感谢！

本书在编写、出版过程中，得到北京大学教材部、北京大学出版社的大力支持。在此我们一并表示感谢！

编 者

1992年4月于北京大学物理系

## 目 录

|                                  |       |
|----------------------------------|-------|
| 实验一 电学实验基本知识                     | (1)   |
| 实验二 用伏安法测电阻                      | (8)   |
| 实验三 惠斯登电桥                        | (12)  |
| 实验四 学生式电位差计                      | (15)  |
| 实验五 灵敏电流计                        | (19)  |
| 实验六 用电流场模拟静电场                    | (24)  |
| 实验七 示波器的使用(一)                    | (28)  |
| 实验八 交流元件的测量                      | (35)  |
| 实验九 交流电路功率的测量                    | (37)  |
| 实验十 交流电桥                         | (43)  |
| 实验十一 利用霍尔效应测磁场                   | (49)  |
| 实验十二 运算放大器的应用                    | (56)  |
| 实验十三 模拟电子计算机                     | (65)  |
| 实验十四 用双电桥测低电阻                    | (70)  |
| 实验十五 用冲击电流计测定螺线管磁场               | (74)  |
| 实验十六 测定软磁材料的磁滞回线                 | (79)  |
| 实验十七 示波器的使用(二)                   | (83)  |
| 实验十八 交流电路的谐振现象                   | (88)  |
| 实验十九 $RLC$ 串联电路的稳态特性             | (92)  |
| 实验二十 $RLC$ 串联电路的暂态过程             | (97)  |
| 实验二十一 弱电流放大                      | (104) |
| 实验二十二 固体介电常数测量                   | (108) |
| 实验二十三 电子射线的电聚焦与磁聚焦               | (110) |
| 实验二十四 用非平衡电桥测定电阻温度系数             | (115) |
| 实验二十五 温差电偶的校准与测温                 | (118) |
| 实验二十六 与微机连机的模/数(A/D)和数/模(D/A)转换器 | (121) |
| 设计实验一 测量小灯泡伏安特性曲线                | (124) |
| 设计实验二 简易万用电表的设计及校准               | (125) |
| 设计实验三 黑盒子                        | (128) |
| 设计实验四 测电容                        | (129) |
| 设计实验五 测定半波整流电容滤波电路的负载电阻上消耗的平均功率  | (130) |
| 设计实验六 周期函数的傅里叶分析                 | (131) |
| 设计实验七 热敏电阻温度计                    | (133) |

|                              |       |
|------------------------------|-------|
| 设计实验八 用冲击电流计测高阻 .....        | (134) |
| 设计实验九 地磁场水平分量的测定 .....       | (135) |
| 设计实验十 测定互感器的互感系数 .....       | (136) |
| 设计实验十一 测定真空二极管阴极材料的逸出功 ..... | (137) |
| 设计实验十二 可控硅整流器 .....          | (138) |
| 参考资料 .....                   | (140) |

## 实验一 电学实验基本知识

### 【目的要求】

1. 了解电学实验基本仪器的规格和使用方法。
2. 初步掌握连接电路的方法和电学实验操作规程。

### 【仪器用具】

电流表，电压表，变阻器，电阻箱，导线，开关。

### 【几种常用仪表介绍】

#### 1. 直流电表

实验室用直流电表大部分是磁电式电表，它由表头与扩程电阻两部分组成。表头的作用是将通过它的电流变成指针或光点的偏转；扩程电阻的作用是将超过表头量程的那部分电流（或电压）进行分流（或分压）。

1) 表头：它的内部构造如图 1-1。永久磁铁的两个极上连着圆筒形的极掌。极掌之间有圆柱形铁芯，使极掌与铁心间的空隙具有强磁场，且使磁场以圆柱的轴为中心作辐射状分布。在铁芯和极掌间空隙处放有长方形线圈。它可以绕铁芯的轴旋转。线圈转轴上附有一根指针。当电流通过线圈时，线圈受电磁力矩而偏转，直到与游丝的反扭力矩平衡，线圈转角维持一定。转角大小与所通过的电流大小成正比，电流方向不同，偏转方向也不同。这是磁电式电表表头的基本特征。表头的主要规格：

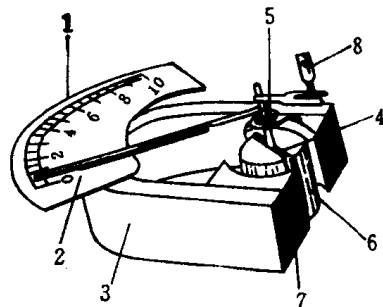


图 1-1

- |        |           |         |
|--------|-----------|---------|
| 1. 刻度盘 | 2. 指针     | 3. 永久磁铁 |
| 4. 线圈  | 5. 游丝     | 6. 软铁芯  |
| 7. 极掌  | 8. 零点调节螺丝 |         |

a. 满度电流：指针偏转指到满度时，线圈所通过的电流值。以  $I_g$  表示，一般表头满度电流为  $50\mu\text{A}$ ， $100\mu\text{A}$ ， $200\mu\text{A}$  和  $1\text{mA}$ 。

b. 内阻：主要指图 1-1 中长方形线圈的电阻。以  $R_g$  表示，表头内阻由几十欧姆到数千欧姆。表头满度电流愈小，内阻愈大。

2) 直流电压表（伏特表、毫伏表）：用来测量电路中两点间电压的大小。它是由磁电式表头串联适当的电阻组成。它的主要规格是：

a. 量程：指针偏转满度时的电压值。例如量程写为  $0-1.5-3-7.5\text{V}$ ，则表示电压表有三个量程。

b. 内阻：电表两端之间的电阻。电压表的内阻常以  $\Omega/\text{V}$  为单位，其数值等于  $I_g$  的倒数，即  $1/I_g = R/U$ 。

c. 准确度等级：用电表的基本误差的百分数值表示电表的准确度等级。例如一个 0.5 级的电表其基本误差为  $\pm 0.5\%$ 。用电表的准确度等级  $a$  及电表的量程  $X_m$  可以求出电表的 最大允许误差  $\Delta X_m$ 。

$$\Delta X_m = a\% \cdot X_m.$$

电表的标度尺上所有分度线的基本误差都不超过  $\Delta X_m$ 。

电表级别分七级：0.1, 0.2, 0.5, 1.0, 1.5, 2.5, 5.0。

3) 直流电流表(安培表,毫安表,微安表)：用来测量电路中电流的大小。它是由磁电式表头并联适当的电阻组成。它的主要规格：

a. 量程：即指针偏转满度时的电流值。

b. 内阻：一般安培表内阻都在  $0.1\Omega$  以下，毫安表、微安表的内阻可达一二百欧姆到一二千欧姆。

c. 准确度等级。其规定与直流电压表的相同(见 2)中 c.)。

使用电表时应注意以下几点：

第一，选择电表的准确度等级和量程。在使用电表时可根据电表的准确度等级求出测量值  $X$  的可能最大相对误差

$$r_m = \frac{\Delta X_m}{X} = a\% \cdot \frac{X_m}{X}.$$

由上式看出测量值愈接近电表的量程  $X_m$ ，测量误差就愈接近电表准确度等级的百分数。当被测量值比选用的电表量程小很多时，测量误差将会很大，这点在使用电表时要特别注意。

例如：一个 0.5 级，3V 量程的电压表其基本误差为  $\pm 0.5\%$ 。每个读数的最大误差不超过  $\Delta X_m = 3V \times 0.5\% = 0.015V$ 。测量电压时，当电压表读数为 3V 时，测量的相对误差为  $0.015V/3V = 0.5\%$ 。而当电压表读数为 2V 时，测量的相对误差为  $0.015V/2V = 0.75\%$ 。

在选用电表时不应片面追求准确度愈高愈好，而应该根据被测量的大小及对误差的要求，对电表准确度的等级及量程进行合理选择。为了充分利用电表准确度，被测量的量应大于量程的 三分之二。这时电表可能出现的最大相对误差为

$$r_m = a\% \cdot \frac{X_m}{\frac{2}{3}X_m} = 1.5a\%,$$

即测量误差不会超过准确度等级百分数的 1.5 倍。

在不知道被测电流或电压大小的情况下，应选用电表的最大量程，根据指针偏转情况逐渐调到合适的量程。

第二，电表的接入方法：电流表是用来测量电流的，使用时应当串接在被测电路中。电压表是用来测量电压的，使用时应当并联在被测电压的两端。

第三，电表的正、负极不能接反，以免损坏指针。

第四，在电表外壳上，有零点调节螺丝，见图 1-1，通电前应检查并调节指针指零。有镜面的电表，在指针的像与指针相重合时，所对准的刻度才是电表的准确读数。读数时一般根据电表最小刻度可分的份数决定估读到最小刻度的  $1/2$ — $1/10$ 。

第五，使用电表时，由于正常工作条件得不到满足，如温度、湿度、工作位置等条件不合要求而引起仪表指示值的误差，叫附加误差，因此在使用电表时除了基本误差外，还往往

有附加误差。在使用电表时特别是比较精密的电表要注意工作条件，以减少附加误差。

2. 万用电表

万用电表是实验室常用仪表，它由多量程的电压表、电流表和欧姆计构成，能测量直流电压和电流、交流电压和电流，还可以测量电阻。它用途广，使用简便，但准确度稍低。不同类型的万用电表其测量种类和量程有所不同，下面仅介绍 MF30 型万用电表的主要规格和使用方法，见表 1-1，图 1-2。

表1-1 MF30型万用电表主要规格

| 测 量 对 象 | 量 程                                                             | 内 阻 或 内 压 降                             | 准 确 度 等 级 |
|---------|-----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|-----------|
| 直 流 电 压 | 0—1—5—25V                                                       | 20k $\Omega$ /V                         | 2.5       |
|         | 0—100—500V                                                      | 5k $\Omega$ /V                          | 2.5       |
| 交 流 电 压 | 0—10—100—500V                                                   | 5k $\Omega$ /V                          | 4.0       |
| 直 流 电 流 | 0—50 $\mu$ A—0.5—5—50—500mA                                     | $\approx 0.75$ V                        | 2.5       |
| 电 阻     | $\Omega \times 1, \times 10, \times 100, \times 1k, \times 10k$ | $\Omega \times 1$ 挡, $R_{中} = 25\Omega$ | 2.5       |

工作频率：45—1000Hz

万用电表的电压挡和电流挡的内部结构与普通多量程电压表、电流表相同。欧姆计的结构详见设计实验二。

万用电表的使用方法及注意事项：

1) 认清所用万用电表的面板和刻度，根据待测量的种类和大小，将选择开关拨至合适的位置。

2) 电压挡和电流挡的使用方法和注意事项与普通电压表和电流表相同。

3) 欧姆挡的量程选择：由于欧姆计表盘刻度不均匀，它的中点阻值称为中值电阻  $R_{中}$ ，使用时应尽量利用表盘中间一段，如  $(1/5)R_{中}—5R_{中}$ ，两边测量误差较大，所以欧姆计都有几个量程，每个量程  $R_{中}$  不同。

4) 由于欧姆计中电源是干电池，其电动势不可能保持不变，因此每次测量前都要调节“欧姆零点”，即将两个表笔短路，调节“欧姆零点”旋钮，使指针满偏即指零欧姆处，以保证欧姆计刻度值正确，每次改变量程都应重新调整零点。

5) 不得用欧姆计测带电的电阻，不得测额定电流小的电阻(如灵敏电流计的内阻)。

6) 测试时，不得双手同时接触两笔尖的金属部分。

7) 使用完毕，务必将选择开关拨到空挡或直流最高电压挡，以确保安全。

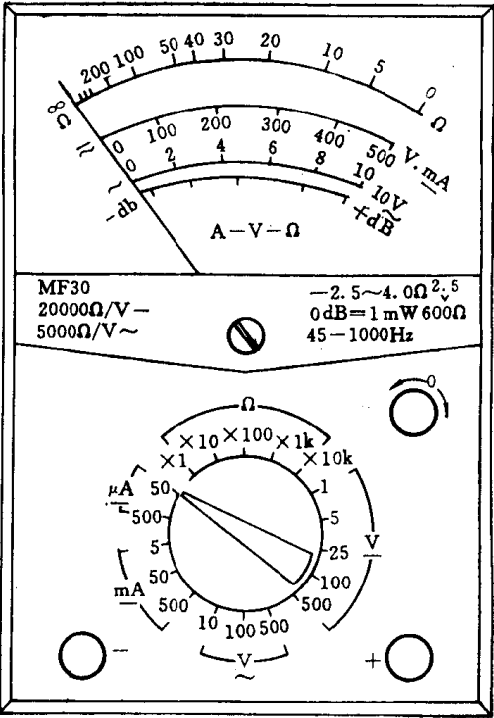


图 1-2

万用电表还经常用以检查电路故障。通常用电压挡测量电路中的电压分配，发现电压异常处即故障所在点。

### 3. 电阻箱

电阻箱外形如图 1-3。它的内部是用一套锰铜线绕成的标准电阻，按图 1-4 连线。旋转电阻箱上的旋钮，可以得到不同的电阻值。电阻箱的主要规格：

1) 总电阻：最大电阻。如图 1-4 所示电阻箱总电阻为 99999.9Ω。

2) 额定功率：一般电阻箱中各挡每个电阻的额定功率为 0.25W，如 ×100 挡，是指每个 100Ω 电阻的额定功率。因此指示 500Ω 与 600Ω 允许通过的电流都是

$$I = \sqrt{\frac{W}{R}} = \sqrt{\frac{0.25\text{W}}{100\Omega}} = 0.05\text{A}.$$

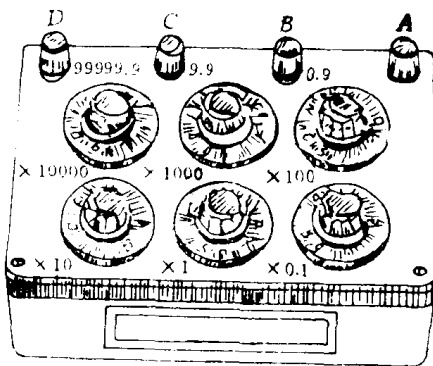


图 1-3

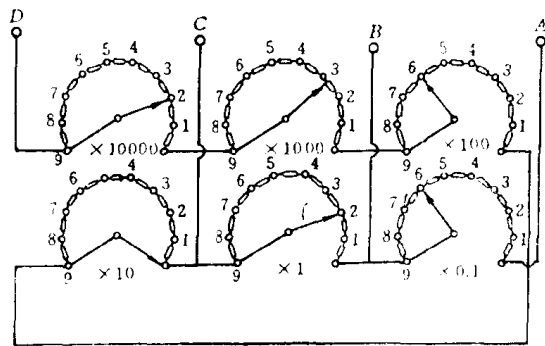


图 1-4

可见，电阻值愈大的挡，允许通过的电流愈小。过大的电流会使电阻发热，从而使电阻值不准确，甚至烧毁。

3) 准确度等级：根据电阻箱标称阻值的允许误差百分数。准确度等级分别为：0.01, 0.02, 0.05, 0.1, 0.2, 0.5, 1.0。例如 ZX-21 型电阻箱为 0.1 级，即在环境温度为  $20 \pm 8^\circ\text{C}$ ，相对湿度小于 80% 条件下，允许误差为 0.1%；若电阻为 326Ω 时，允许误差为  $0.1\% \times 326\Omega \approx 0.3\Omega$ 。

电阻箱旋钮的接触电阻依等级而不同。ZX-21 型的每个旋钮接触电阻不大于 0.002Ω。在电阻值较大时，它引入的误差很小。但在低电阻时，它引入的误差不可忽视。为了减少接触电阻，ZX-21 型电阻箱增加了低电阻接头（图 1-4 中的 B 和 C 接头）。当电阻小于 10Ω 时，用 A 和 C 两个接头可使电流只流过 ×1Ω 和 ×0.1Ω 这两个旋钮，接触电阻限制在  $2 \times 0.002\Omega = 0.004\Omega$  以下；当电阻小于 1Ω 时，用 A 和 B 接头可使接触电阻小于 0.002Ω。

允许误差和接触电阻误差之和就是电阻箱的主要误差。但应注意电阻箱的维护，否则其接触电阻会大大超过规定值。

电阻箱主要用于电路中需要准确电阻值的地方。它还有可以很方便地改变阻值的优点。但因为额定功率很小，一般不用它控制电路中较大的电流或电压。

### 4. 变阻器

滑杆式变阻器的构造如图 1-5 所示。电阻丝密绕在绝缘瓷管上，两端分别与固定在瓷管上的接线柱 A 和 B 相联。电阻丝上涂有绝缘物，使圈与圈之间互相绝缘。瓷管上方装有一根

和瓷管平行的金属杆，一端联有接线柱  $C$ ，杆上还套有接触器，它紧压在电阻圈上。接触器与线圈接触处的绝缘物已被刮掉。所以使接触器沿金属杆滑动就可以改变  $AC$  或  $BC$  之间的电阻。认识变阻器的结构很重要。为此，应把图 1-5(a) 和 (b) 中的  $A, B, C$  三点互相对照。变阻器的规格：

全电阻：即  $AB$  间电阻。额定电流：变阻器所允许通过的最大电流。

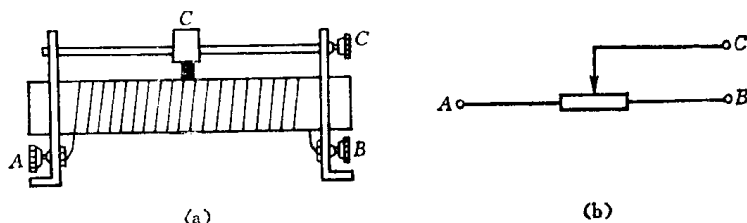


图 1-5

变阻器在电路中经常用来控制电流或电压。用它可以连成制流电路和分压电路。

### 1) 制流电路

如图 1-6 所示， $A$  端和  $C$  端连在电路中， $B$  端空着不用。当滑动  $C$  时，整个回路电阻改变了，因此，电流也改变了，所以叫做制流电路。当  $C$  滑动到  $B$  端时，变阻器全部电阻串入回路， $R_{AC}$  最大，这时回路电流最小。当  $C$  滑动到  $A$  端时， $R_{AC} = 0$ ，回路电流最大。

为保证安全，在接通电源前，应使  $C$  滑动到  $B$  端，使  $R_{AC}$  最大，回路电流最小。以后逐步减少电阻，使电流增至所需值。

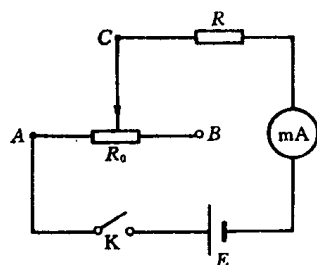


图 1-6

### 2) 分压电路

如图 1-7 所示，变阻器的两个固定端  $A, B$  分别与电源的两电极相连，滑动端  $C$  和一个固定端  $A$  (或  $B$ ，图中用  $A$ ) 连接到用电部分。当电源接通时，电流在全电阻  $AB$  上产生电压降  $U_{AB}$ ，注意到  $AC$  是跨在  $AB$  的一部分电阻上的，因此，在  $AC$  两端跨有部分电压降  $U_{AC}$ ，输出电压  $U_{AC}$  随滑动端  $C$  的位置而改变，当  $C$  滑到  $B$  端时， $U_{AC} = U_{AB}$  达到最大值。当  $C$  滑到  $A$  端时， $U_{AC} = 0$ ，分压为零。

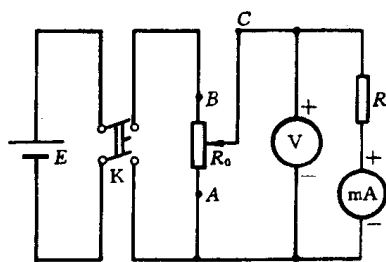


图 1-7

为了保证安全，在接通电源时，应使  $U_{AC} = 0$ ，以后逐步滑动  $C$ ，使电压增至所需值。

## 【电学实验操作规程】

为了保障人身安全及仪器的安全使用，为了培养良好的实验习惯，请注意遵守下列操作规程：

1. 课前预习，结合实验原理仔细分析电路，了解仪器的性能和使用方法，并按教师要求写出预习报告。

2. 实验时,要在理解电路的基础上,考虑到安全、操作和读数方便,应先安排好仪器,再连接电路。连线过程中,先连主回路,再连其他部分。电源不要连入,开关也要断开。

3. 连好电路后,应按以下要求检查一遍:电路连接是否正确,各接头是否接牢;仪表的正负端是否接对;量程是否合适;电阻箱数值是否放对;变阻器滑动端是否放在起始安全位置;开关是否打开等。自己检查无误,再请教师检查,经允许后才能接通电源进行实验。

4. 接通电源,合开关时,应采用跃接法(轻合开关,立即断开),同时观察各仪表反应是否正常,一切正常后才能紧合开关。实验过程中需要暂停、更换仪表、改换电路时,都应将各仪器调到安全位置,打开开关后再进行。

5. 实验完毕,将仪表调到安全位置,断开关,拔下电源插头。请教师检查实验数据后,再拆电路,拆线时先拆电源。拆完线,将仪表、导线整理好,放回原处。

### 【实验内容】

1. 记录仪器的主要规格。

2. 选择 MF30 型万用电表合适的欧姆挡测三个电阻的阻值。

3. 按操作规程连接电路图 1-8,图中  $R_x$  用电阻箱,其取值和电源电压由实验室给定,由此确定电表量程。接通电源,调节  $R_1$  和  $R_2$ ,观察电流表和电压表指针偏转情况。调节  $R_1$  和  $R_2$  使电表指针在 1/2 至满偏之间读取 5 组数(注意有效数字),计算  $R_x$  值,并与电阻箱上取值比较。

4. 连接电路如图 1-9,其他要求和取值同 3。

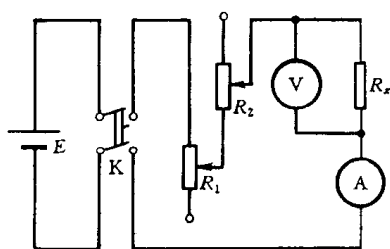


图 1-8

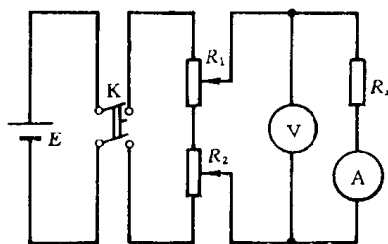


图 1-9

5. 比较以上 3 和 4 两个电路测的同一电阻数值,哪个更接近电阻箱示值,试分析说明原因。

### 【选做实验】

将上述三个电阻和直流电源串接,用万用电表分别测出三个电阻上的电压,它们的和是否等于电源电压?为什么?

### 【思考题】

1. 用一个量程为 1.5V,每伏欧姆数为  $1000\Omega/V$  的电压表测量电压,测得结果为 1.0V,此时电压表内阻是多少?

2. 有两块电流表,规格分别为:0.5 级,0—30mA 和 1.0 级,0—10mA。欲测的电流

强度为  $10\text{mA}$ ，试问选择哪一块电流表测量，相对误差小些？

3. 有两块电压表量程均为  $300\text{V}$ ，但准确度等级不同，一块为 1.0 级，另一块为 1.5 级。

如果被测电压的实际值为  $200\text{V}$ ，试问这两块电压表测出的数值在什么范围内？

4. 当正确使用 ZX-21 型电阻箱时，试计算电阻读数为  $500\Omega$  和  $5\Omega$  时可能的最大误差，

5. 已知电源电压  $110\text{V}$ ，是否可以用一个电阻箱控制，得到  $0.5\text{A}$  的电流？

6. 计算 ZX-21 型电阻箱各挡的额定电流。

## 实验二 用伏安法测电阻

### 【目的要求】

1. 学会用伏安法测量电阻时正确联接电表。
2. 学习选择变阻器以控制电路的电流和端电压。

### 【仪器用具】

电压表 (0—1.5—3—7.5V, 内阻  $1\text{ k}\Omega/\text{V}$ ), 电流表 (0—7.5—15—30mA, 相应内阻为  $9.1\Omega, 4.8\Omega, 2.5\Omega$ ), 微安表 (0—50—500 $\mu\text{A}$ , 相应内阻约  $15\text{ k}\Omega$  和  $1.5\text{ k}\Omega$ ), 变阻器两个 (全电阻约  $100\Omega$  和  $1\text{ k}\Omega$ ), 直流电源 ( $E_1 = 2\text{V}, E_2 = 10\text{V}$ )。

### 【实验原理】

用电压表测得电阻两端的电压  $U$ , 用电流表测出通过该电阻的电流  $I$ , 用欧姆定律公式

$$R = U/I, \quad (2.1)$$

求得电阻  $R$ , 这种方法简称为伏安法。把测量结果以电压为横坐标, 电流为纵坐标作图称为电阻的伏安特性。线性电阻的伏安特性是一直线。

#### 1. 电路的连接方法

##### 1) 电流表内接

如图2-1。我们希望量度的是  $I_x$  和  $U_x$ , 但是实际上电压表指示值却是  $U_x + U_A$ , 也就是说, 电流表的内阻  $R_A$  不为零引起了电压测量的误差, 这种误差称为接入误差。这将使测得的电阻值比  $R_x$  偏大, 即

$$R'_x = \frac{U}{I_x} = \frac{U_x + U_A}{I_x} = R_x + R_A, \quad (2.2)$$

这样引入的接入误差以相对误差表示:

$$\frac{\Delta R_x}{R_x} = \frac{R'_x - R_x}{R_x} = \frac{R_A}{R_x}. \quad (2.3)$$

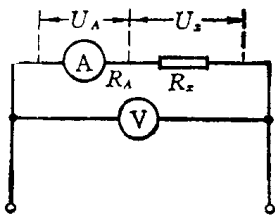


图 2-1

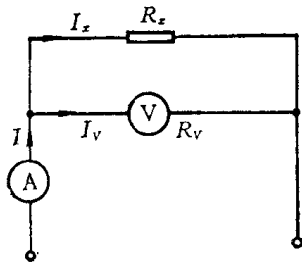


图 2-2

由公式 (2.3) 看出, 只有当  $R_x \gg R_A$ , 才能保证测量有足够的准确度, 所以测量较大电阻时

宜采用电流表内接电路。

## 2) 电流表外接

电流表外接电路，如图 2-2 所示。电压表测量的是  $R_x$  两端电压  $U_x$ ，电流表指示的却是  $I_x + I_V$ 。在这个电路中按 (2.1) 式计算出的结果实际是被测电阻  $R_x$  与电压表内阻  $R_V$  相并联的电阻

$$R_x'' = \frac{U_x}{I_x + I_V} = \frac{1}{\frac{I_x}{U_x} + \frac{I_V}{U_x}} = \frac{1}{\frac{1}{R_x} + \frac{1}{R_V}} = \frac{R_x R_V}{R_x + R_V}, \quad (2.4)$$

由此产生的接入误差

$$\frac{\Delta R_x}{R_x} = \frac{R_x'' - R_x}{R_x} = \frac{-R_x^2}{R_x(R_x + R_V)} = \frac{-R_x}{R_x + R_V}, \quad (2.5)$$

负号表明电流表外接电路将使测量结果偏小。(2.5) 式表明，当待测电阻  $R_x \ll R_V$  时宜采用电流表外接电路。

由上述分析可知，用伏安法测电阻时，无论采用电流表内接还是采用电流表外接电路总是存在接入误差。因此在测量时应根据待测阻值及电表内阻大小选择合适的接法以减小接入误差，如果要得到电阻的准确值，必须根据公式 (2.2) 和 (2.4) 对测量结果进行修正。

## 2. 变阻器电路

常用的电源种类虽不少，但电源的电动势都具有固定的数值，例如干电池的电动势每节为 1.5V，市电是交流 220V 等。因此，实验所需要的电压很少能找到恰好的电源，有时实验还要求可以任意连续调节电压的电源。为了实现这些要求，通常加接变阻器电路。变阻器的连接方法有两种：

### 1) 制流电路。电路如图 2-3。电路中电流

$$I = \frac{E}{R_{AC} + R}. \quad (2.6)$$

当 C 移至 A 端， $R_{AC} = 0$ ，回路电流最大。相当于把负载  $R$  直接和电源连接，

$$I_{\max} = \frac{E}{R}. \quad (2.7)$$

当 C 端移至 B， $R_{AB} = R_0$ ， $R_0$  是变阻器的全电阻。回路电流最小，其值为

$$I_{\min} = \frac{E}{R + R_0}. \quad (2.8)$$

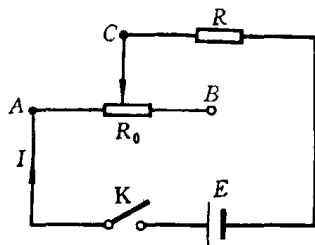


图 2-3

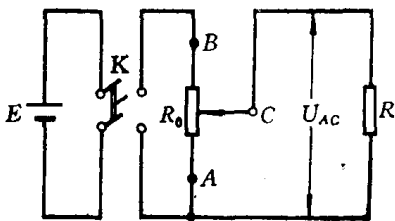


图 2-4

选用变阻器的步骤如下：

a. 由实验要求的最大电流  $I_{\max}$  和  $R$ , 根据 (2.7) 式选定电源  $E \geq I_{\max} R$ .

b. 由实验要求的最小电流  $I_{\min}$ 、 $R$  和选定的  $E$  值, 根据 (2.8) 式选择  $R_0$ , 一般可选

$$R_0 \geq \frac{E}{I_{\min}}.$$

c. 变阻器的额定电流必须大于实验中的  $I_{\max}$ , 以确保变阻器的安全.

d. 细调程度, 实验中有时虽然电流值在控制电路的调节范围内, 但很难准确地调到指定值, 这种现象反映了控制电路细调程度不够, 这时可在电路中再串入一较小变阻器, 一般可选择  $R_0/5 - R_0/10$  以满足细调要求.

2) 分压电路. 电路如图2-4.

a. 调节范围: 滑动头从  $A$  移到  $B$  电压  $U$  就从零变到  $E$ , 所以只要电源  $E$  选的合适, 不论  $R_0$  的大小如何都能满足调节范围的要求.

b. 细调程度: 由于在  $R_{AC}$  上并联了负载电阻  $R$ , 所以当  $C$  由  $A$  到  $B$  均匀滑动时, 电压  $U$  的增加并不是均匀的.  $R$  越小, 这种不均匀性也越显著. 如果  $R$  很大, 与  $R_{AC}$  并联时可忽略, 那么电压的改变就完全与  $R_{AC}$  的改变一样均匀了, 即  $U_{AC} \propto R_{AC}$ . 通过计算可得到  $U_{AC}/E$  随  $R_{AC}/R_0$  变化的关系曲线, 图 2-5 画出了三个  $R/R_0$  值情况下的这种关系曲线, 由图可以看出, 当  $R/R_0 = 0.1$  时, 调节很不均匀, 在  $R_{AC}$  开始阶段, 曲线很平, 电压  $U$  增长缓慢, 可以调节很细, 在  $R_{AC}$  的后半段, 曲线很陡, 因此调节很困难, 显然这对实验是很不方便的.

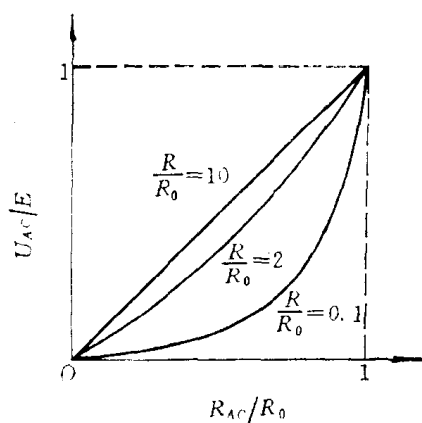


图 2-5

对应于  $R/R_0 = 10$  的那条线基本是直线, 说明这种情况下的调节是很均匀的. 对应  $R/R_0 = 2$  的那条线也已经很接近于直线, 所以实际上, 只要  $R \geq 2R_0$  调节就已经很均匀了. 若一级分压用一个变阻器达不到细调要求, 可再串一变阻器作细调用, 此变阻器阻值可选择  $R_0/5 - R_0/10$ .

c. 功率消耗: 从调节均匀性看  $R_0$  愈小愈好, 但  $R_0$  减小, 在同样的电源  $E$  的情况下,  $R_0$  上所消耗的功率将增大, 这不符合经济节约的原则, 所以  $R_0$  不应取得过小.

d. 变阻器额定电流应大于  $E/R_0 + E/R$ .

综合上述分析, 在负载电阻比较大, 调节范围比较宽的场合一般用分压电路较为合适; 而在负载电阻比较小, 调节范围不太大的场合, 用制流电路更经济、方便, 但一般安排控制电路时并不要求设计出一个最佳方案, 只要根据实验室设备, 设计出能满足实验要求, 安全而省电的电路就可以了, 在实验中可以边实验边改进.

## 【实验内容】

本实验要求学生在预习时用给定的仪器用具设计测量线路, 选定线路中所用仪器的规格, 并且拟好测量步骤. 测量对象是:

1. 约  $50\Omega$ ,  $0.5W$  电阻一个, 要求测出其伏安特性曲线并求出其阻值.
2. 约  $1k\Omega$ ,  $0.5W$  电阻一个, 要求测出其伏安特性曲线并求出其阻值.
3. 二极管一只, 其正向电流在电压  $1V$  时约有  $10mA$ ; 其反向电流在电压  $10V$  时约

50 $\mu$ A。要求考察在正向电流小于等于 10mA，反向电压小于等于 10V 范围内二极管的伏安特性。

### 【数据处理】

1. 对线性电阻画出伏安曲线，由图求出阻值，并对接入误差进行修正。
2. 画出二极管的伏安曲线，正、反向画在同一坐标上，正、反向坐标轴可选取不同单位。由图求出  $U = 0.7\text{V}$  及  $U = -10\text{V}$  时的动态电阻  $\Delta U/\Delta I$ 。

### 【思考题】

1. 本实验测  $R_x \approx 50\Omega$ ，若要求测量结果误差小于 2%，除了修正接入误差外，电流表和电压表的级别和读数应如何选择？
2. 为校准 0—15V 的电压表安排控制电路，已知待校表和标准电表内阻皆为  $1\text{k}\Omega/\text{V}$ 。
3. 试分析图 2-6 中几个电路中细调电阻为什么能起到细调作用？

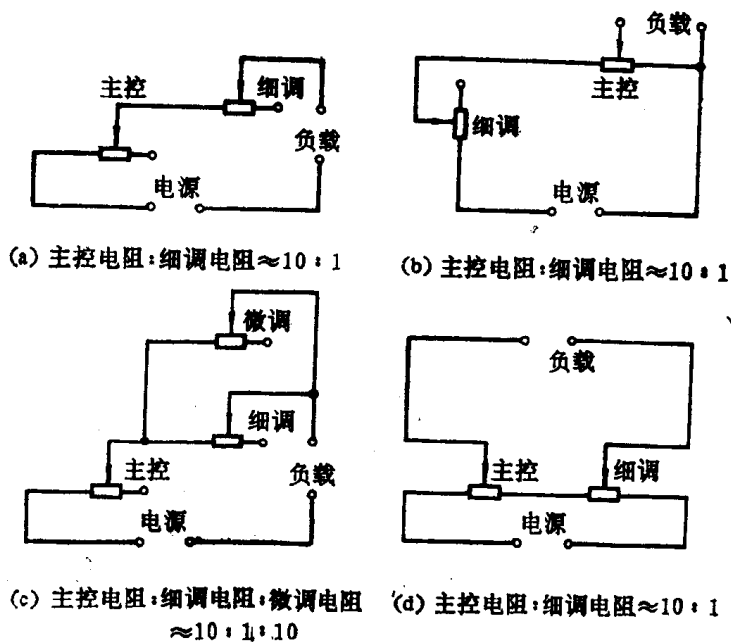


图 2-6