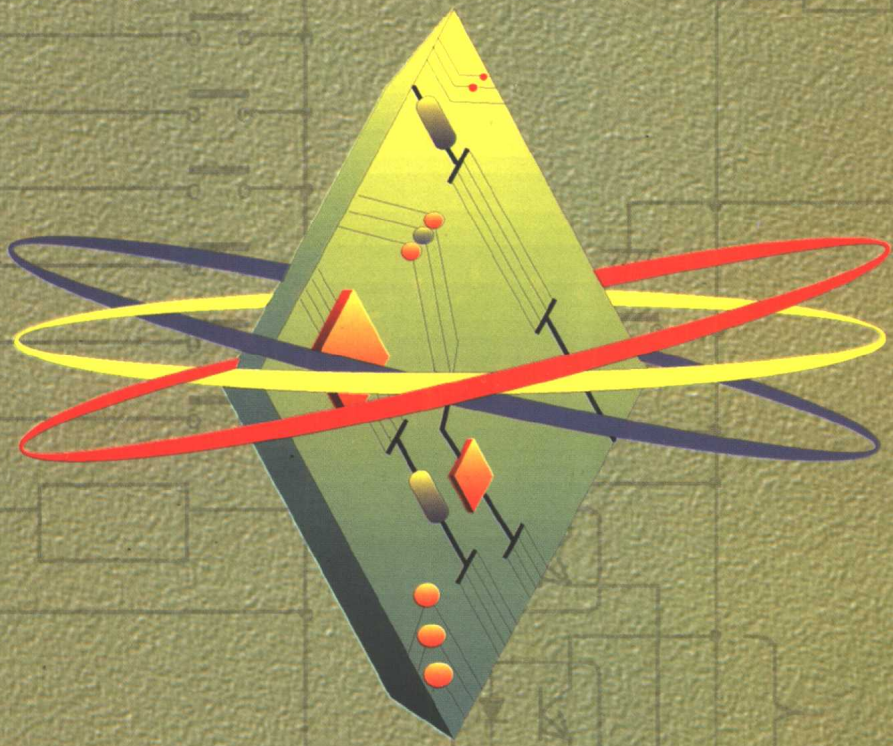


北京航空航天大学
电工电子中心

电工电子实验



国防工业出版社

电工电子实验

北京航空航天大学电工电子中心 编

国防工业出版社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

电工电子实验/北京航空航天大学电工电子中心编. —北京:国防工业出版社, 2001. 4

ISBN 7-118-02356-6

I. 电... II. 光... III. ①电工技术-实验 ②电子技术-实验 IV. TM-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 05367 号

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

三河市腾飞胶印厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 11½ 264 千字

2001 年 4 月第 1 版 2001 年 4 月北京第 1 次印刷

印数: 1-6000 册 定价: 16.00 元

(本书如有印装错误, 我社负责调换)

前 言

本教材是根据 1995 年高教部颁布的高等工业学校《电路与电子技术》、《电工技术》(电工学 I)及《电子技术》(电工学 II)课程教学基本要求,结合实际使用的实验设备条件编写的。其内容是按照实验课独立设课的做法安排的,重点不仅在于帮助学生巩固和加深理解所学的理论知识,更重要的是训练他们的实验技能、分析和解决问题的能力、树立工程实际的观点及严谨的科学作风。

本教材是在原《电路测试》讲义的基础上改编的。内容以学生动手实验为主,包括电路、电动机及控制、模拟电子技术、数字电子技术等。与以前的实验教材相比,减少了电路及传统的经典内容,减少了单纯验证性内容,增加了综合性和设计性以及反映新技术应用的内容,如可编程控制器、变频器、电子新器件的应用以及 EDA 方面的内容,拓宽了知识面。在每部分实验项目中都有必做实验和选做实验。必做实验包括了教学的基本要求中规定的所有实验内容范围,选做实验则是加深、加宽的实验内容。

本教材共安排了 23 个实验,72~74 个学时。为了与学生教学安排相适应,一部分实验安排在 2 学时内完成,还有一部分基本实验以及设计性和综合性实验安排成 4 学时或 6 学时,不同专业的同学可按自己的专业特点、兴趣要求选择不同的实验内容。这样有利于因材施教,满足不同层次学生的需要,有利于发挥学生的主动性和创造性。

为了便于预习,本书把与实验有关的仪表及设备使用知识作为附录,并分别安排在第一次使用该仪器的实验后面,做到与实验内容紧密配合。另外在预习内容中也编入了一些简明的预习思考题,有利于学生对实验过程中出现的现象进行判断,也便于教师检查学生的预习情况。

本教材是在北京航空航天大学电工电子实验中心的教师们多年实验课教学经验及原《电路测试》的基础上组织编写的。本次参加编写的教师有董云凤(实验 1~实验 3、实验 6、实验 7 和实验 16)、唐瑶(实验 4、实验 5 和实验 8)、吴星明(实验 9 和实验 10)、吴冠(实验 11~实验 13)、申文达(实验 14、实验 15、实验 17、实验 18 和实验 23)、李可(实验 19~实验 22),于守谦、程学航等同志参加了讨论和部分工作。在此对所有为本教材的编写工作提出意见并给予支持和热情帮助的同志表示衷心的感谢。

由于时间仓促和水平有限,本教材中错误和不妥之处在所难免,衷心希望使用本教材的师生给予批评指正。

编 者

2001 年 1 月于北京

内 容 简 介

本实验教材是根据 1995 年高教部颁布的高等工业学校《电路与电子技术》、《电工技术》(电工学 I)及《电子技术》(电工学 II)课程教学基本要求,结合当前一些新技术、新设备的应用编写的。

本教材是在原《电路测试》讲义的基础上改编的。实验内容包括电路、电动机及控制、模拟电子技术、数字电子技术等。与以前的实验教材相比,减少了电路及传统的经典内容,减少了单纯验证性内容,增加了综合性和设计性以及反映新技术应用的内容,如可编程控制器、变频器、电子新器件的应用以及 EDA 方面的内容,拓宽了知识面。共安排了 23 个实验,可以满足 70 学时的教学要求。

本教材可供高等工业学校非电类专业本科学生教学使用,亦可供其他有关专业学生和教师使用或参考。

目 录

| | |
|--|-----|
| 绪论 | 1 |
| 实验一 仪表使用 | 3 |
| 附录 1-1 磁电系仪表 | 6 |
| 附录 1-2 UT2000 型数字万用表 | 13 |
| 附录 1-3 常用电子元件 | 15 |
| 附录 1-4 稳压电源及函数发生器的使用 | 21 |
| 实验二 示波器实验 | 25 |
| 附录 2-1 示波器的基本工作原理及使用方法 | 28 |
| 实验三 简易稳压电源系统测试 | 36 |
| 附录 3-1 单相接触调压变压器的使用 | 42 |
| 实验四 交流电路的功率及参数测量 | 44 |
| 附录 4-1 功率表的原理及使用 | 45 |
| 实验五 三相电路 | 47 |
| 附录 5-1 三相功率的测量 | 48 |
| 实验六 分立元件放大电路综合实验 | 50 |
| 实验七 功率放大器实验 | 56 |
| 实验八 工业控制器件应用基础 | 61 |
| 附录 8-1 FX _{ON} -24MR 型可编程控制器的使用方法 | 63 |
| 实验九 变频器的使用 | 65 |
| 附录 9-1 变频器介绍 | 66 |
| 附录 9-2 变频器实验板图 | 71 |
| 实验十 电动机的变速控制与位置控制 | 72 |
| 实验十一 简易小型电子琴(RC 振荡器) | 79 |
| 实验十二 运算放大器的应用 | 83 |
| 实验十三 新器件应用——MAXIM 高性能滤波器 | 89 |
| 实验十四 组合和时序逻辑电路 | 93 |
| 实验十五 定时电路 | 101 |
| 实验十六 555 集成定时器及其应用 | 104 |
| 实验十七 简易直流数字电压表设计 | 109 |
| 实验十八 A/D、D/A 芯片的使用 | 116 |
| 实验十九 GAL 可编程器件应用基础 | 120 |
| 附录 19-1 GAL 的基本结构原理和使用知识 | 122 |

| | |
|---|-----|
| 附录 19-2 SUPERPRO/III 编程器的使用方法 | 136 |
| 实验二十 GAL 可编程器件应用(交通灯控制器的设计) | 140 |
| 实验二十一 使用电路模拟软件 PSPICE 对模拟电路系统设计及分析 | 142 |
| 附录 21-1 电路模拟软件 PSPICE 的使用 | 144 |
| 实验二十二 使用 ispLSI 可编程器件对数字电路系统设计与仿真 | 149 |
| 附录 22-1 ispEXPERT System 软件的使用 | 152 |
| 附录 22-2 下载 ISP 实验板的说明 | 162 |
| 附录 22-3 ispLSH1032-60LG84/883 芯片的管脚定义 | 163 |
| 实验二十三 CMOS 集成电路应用基础 | 164 |
| 总附录 | 169 |
| 总附录一 各芯片的管脚图 | 169 |
| 总附录二 实验电路板 | 173 |
| 总附录三 实验报告格式 | 174 |
| 参考文献 | 177 |

绪 论

一、实验的重要性及目的要求

《电工电子实验》是一门实验性质的课程,是技术基础课《电工技术》和《电子技术》的后续课。目前,电工技术和电子技术的应用极为广泛,发展非常迅速,日益渗透到其他科学领域,因此,掌握电工及电子实验的基本实验手段是工科院校大学教育的教学要求之一。在工科大学生的培养过程中,实验是一项重要的实践性环节,要求大学生毕业后能独立地研究问题和解决问题以及解决在研究和开发过程中的许多新问题,解决这些问题相当程度上有赖于他们的实验能力以及相应的工作经验。所以实验教学的目的是不仅要帮助学生巩固和加深理解所学的理论知识,更重要的是要训练学生的实验技能,树立工程实际的观点和严谨的科学作风。鉴于实验这一环节的重要性,学校在建设实验室、装备实验设备方面投入了大量的人力、物力,为同学们创造了一个优良的实验环境和一流的实验条件。实验室是同学们通过自身实践获取新知识、学习操作技能、锻炼实际工作能力和科学作风的重要场所,因而同学们进入实验室后,应该珍惜这一来之不易的机会,虚心接受教师的指导,遵守实验室规则,充分利用已有的条件,做好实验,认真总结,写好实验报告。

对学生实验技能训练的主要目标是:

1. 通过必要的实验技能训练,使学生能正确选择使用常用的电工仪表、设备及常用的电子仪器。
2. 能独立按电路原理图完成实验系统设计,进行合理的布局接线,测试、准确读取数据,排除简单的故障,整理和分析实验结果,写出完整的、条理清楚的、整洁的实验报告。
3. 学会查阅电子元器件手册,掌握常用电子元器件使用的基本知识。

二、实验课前预习要求

上实验课之前一定要预习与实验内容有关的理论内容,认真阅读实验指导书,思考预习要求中的问题,明确实验目的,熟悉实验电路、内容与步骤及实验中的注意事项,并写出预习报告,预习报告的内容包括:

1. 写明实验目的。
2. 列出使用的仪器设备、仪表和元件。
3. 画出完整的实验电路图,并与实验电路板对照,画出接线图。
4. 拟定主要实验步骤。
5. 列出测量数据的表格和要观测的现象,并对它们做出计算和预见。
6. 结合仪器设备的使用,写出注意事项。在使用设备、仪表和进行操作时,为保证人身、设备安全,应写出务必注意的事项。

三、实验总结报告要求

总结报告和预习报告合起来是一份完整的实验报告。在预习报告的基础上,根据实验原始记录整理实验数据,并按指导书要求加以必要的处理,完成指导书要求的总结、问题讨论及心得体会。如有曲线,应该用坐标纸绘出。实验报告一律用学校规定的报告纸认真书写。

四、实验规则

在实验过程中,一定要按以下规则进行操作,养成良好的实验作风。

1. 严禁带电接线、拆线或改接线路。
2. 接线完毕后,要认真复查,确信无误后,方可接通电源进行实验。
3. 实验过程中如发生事故,应立即关断电源,保持现场,报告指导老师。
4. 实验完毕后,应检查实验数据是否与理论相吻合,如相差较大应分析原因。实验结果经教师认可后方可拆线,并将实验设备按原样整理好。
5. 室内仪器设备不能任意搬动调换,非本次实验所用仪器设备,未经教师允许不得动用。没有弄懂仪器、仪表及设备的使用方法前,不得贸然使用。若损坏仪器设备,必须立即报告老师,作书面检查,责任事故要酌情赔偿。
6. 实验要严肃认真,不准随便下座位,保持安静、整洁的学习环境。
7. 遵守实验室的规章制度。

实验一 仪表使用

一、预习要求

1. 预习附录 1-1 和附录 1-2 的内容,了解磁电系仪表的工作原理及 500 型万用表和数字万用表测量电阻、电压和电流的方法。

2. 预习附录 1-4 中稳压电源及函数发生器调节电压幅度和频率的使用方法。

3. 预习附录 1-3 中常用电子元器件的识别、使用。

4. 预习思考题:

(1) 有两块直流电压表,用 5 级 0~75V 的表去测 70V 电压,用 1.5 级 0~150V 的表去测 30V 的电压,问哪块表测出的误差小?

(2) 如中值电阻分别为 10Ω 、 100Ω 、 $1k\Omega$ 、 $10k\Omega$ (对应 $R \times 1$ 、 $R \times 10$ 、 $R \times 100$ 、 $R \times 1000$),要测 750Ω 电阻,宜选多大中值电阻? 为什么?

(3) 500 型万用表表盘上标明“ $20000\Omega/V$ ”,它代表什么意思? 当万用表分别使用在电压量限 10V 和 50V 时,内阻是否相同?

(4) 数字电压表(UT2003 型)的内阻是多少? 测量交流电压的频率范围是多少?

二、实验目的

1. 学会识别常用电子元器件。

2. 正确使用 500 型万用表、数字万用表,了解仪表的频率特性。

3. 学习直流稳压电源、函数发生器的使用方法。

4. 了解仪表内阻对测量结果的影响,学会用电压表、电流表同时测量数据的方法。

三、仪器设备

| | |
|---------------------|----|
| 1. 双路直流稳压电源(0~30V) | 一台 |
| 2. 万用表(500 型) | 一块 |
| 3. 数字万用表(UT2003 型) | 一块 |
| 4. 函数发生器(GFG—8015G) | 一台 |
| 5. 实验板 | 一块 |

四、实验原理说明

1. 实验电路原理图如图 1-1 所示。

电阻元件分线性电阻和非线性电阻。电阻元件的特性是以该元件两端的电压 U 及流过该元件的电流 I 之间的关系来表征,常以伏安特性 $U = f(I)$ 或 $I = f(U)$ 来表示。线性电阻的特点是参数(阻值)不随电压或电流而变,所以它的伏安特性在 $U-I$ 坐标平面

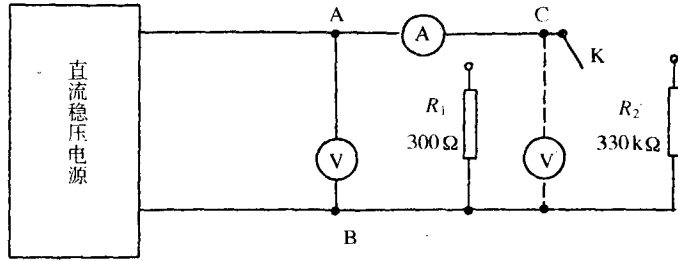


图 1-1 实验原理图

上是一条通过原点的直线,且符合欧姆定律,既 $R = U/I$ 。对于非线性电阻来说,它的伏安特性不能简单地按欧姆定律来描述,而是遵循某种特定的非线性函数关系,它的伏安特性在 $U-I$ 坐标平面上是一条通过原点的曲线。

2. 线性电阻和非线性电阻元件,其伏安特性都可用图 1-2(a)或图 1-2(b)电路测得。若电流表的内阻不为零,电压表的内阻不为无穷大,在图 1-2(a)测量电路中,电流表的读数除了有电阻元件的电流外还包括了流经电压表的电流。而对图 1-2(b)测量电路中,电压表的读数中还包括了电流表两端的电压。显然无论采用哪种测量电路都会引起测量误差。这种因测量方法引进的误差称为方法误差。但若合理选择测量电路,则可使误差减小。例如,当电阻 R_x 的数值远小于电压表的内阻 R_V 时,则用图 1-2(a)电路来测量的误差就很小,甚至可以忽略不计。类似地,当 R_x 的数值远大于电流表的内阻 R_A 时,则采用图 1-2(b)电路,引进的方法误差就可以很小。因此,应根据实际情况选择合适的测量电路,使测量误差减至最小。

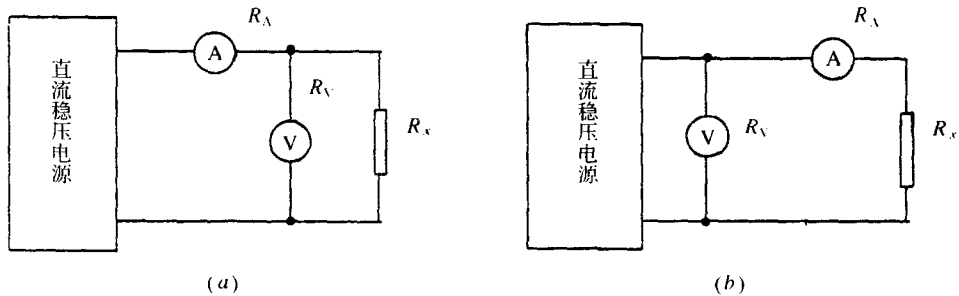


图 1-2 测量元件的伏安特性

五、注意事项

1. 使用万用表前,一定要看清测量各电量的挡位,欧姆挡切勿测带电电阻。
2. 稳压电源、函数发生器的输出端不能短路。
3. 接完线路后,要经教师检查方可接通电源。
4. 接通电源时,仪表不能接在电路中。
5. 不能带电接线和拆线。

六、内容与步骤

1. 仔细观察本实验所用仪表盘上主要图形符号及文字符号,说明下列符号的含义:

$\approx, \cap, -2.5, \sim 4.0, \sqcup, \perp, 20000\Omega/VDC$ 。

2. 识别和熟悉常用的电子元器件,分清电阻、电容、二极管、三极管等元件。

3. 分别用 500 型万用表、数字电压表测量电阻、电容的值,并记录之。

用万用表判别二极管的正、负极,用数字电压表测量二极管的正向导通电压,并记录之。用万用表判别三极管的 E、B、C 极,用数字电压表测出其放大倍数 H_{FE} ,填入表 1-1。

表 1-1 各元件的参数值

| 电阻/ $K\Omega$ | | 电容/ μF | | 二极管导通电压/V | | | 三极管/ H_{FE} | |
|---------------|--|-------------|--|-----------|-----|-----|---------------|-----|
| | | | | 2CP | 2AP | 发光管 | NPN | PNP |
| | | | | | | | | |

4. 仪表的频率范围测量:

调节函数发生器,使其输出电压的有效值为 2.0V,频率为 300Hz。保持电压 2.0V 不变,改变频率(不要线性增加),记录数字电压表和万用表的读数,直到电压衰减到原来电压的 0.707 时,停止测量,把测量数据记入表 1-2。

表 1-2 电压随频率的变化情况

| 频率/KHz | 0.3 | 0.4 | 1.0 | 10 | | | | | | | | | |
|--------------|-----|-----|-----|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| 数字电压表电压/V | 2.0 | | | | | | | | | | | | |
| 500 型万用表电压/V | | | | | | | | | | | | | |

5. 仪表内阻对测量结果的影响:

(1)按电路图 1-1 接线,先接入 300Ω 电阻,用 500 型万用表,选好仪表量程。调节电源电压,使电流表的电流为不同值,将电压表分别接在 AB 和 CB 位置,把电压值记入表 1-3。

表 1-3 电流表量程 _____ 电压表量程 _____

| I/mA | 0.0 | | | | | | | | |
|------------|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|
| U_{AB}/V | | | | | | | | | |
| U_{CB}/V | | | | | | | | | |

(2)把电路中的电阻由 300Ω 换成 $330k\Omega$,调节电源电压,使电压为不同值,将电压表分别接在 AB 和 CB 位置,(此时, $U_{AB} = U_{CB} = U$,为什么?)把对应的电流值 I_{AB} 和 I_{CB} 记入表 1-4。

表 1-4 电流表量程 _____ 电压表量程 _____

| | | | | | | | | |
|----------------|--|--|--|--|--|--|--|--|
| U/V | | | | | | | | |
| $I_{AB}/\mu A$ | | | | | | | | |
| $I_{CB}/\mu A$ | | | | | | | | |

6. 选做:把图 1-1 中的电阻换成 200Ω 电阻和二极管(2AP)相串联,测量二极管正、反向的伏安特性曲线,表格自拟。

七、总结报告要求

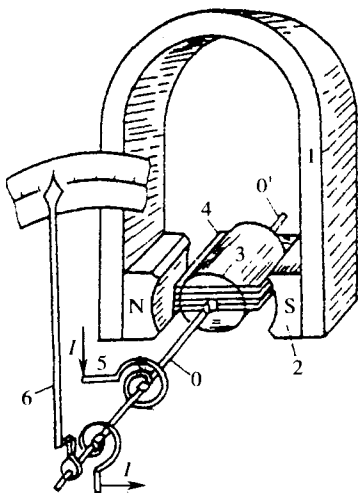
1. 根据所测数据,在坐标纸上分别画出电阻元件的伏安特性曲线。
2. 由实验数据说明,测 300Ω 电阻时,电压表接在什么位置测量误差大? 测 $330k\Omega$ 电阻时,电压表接在什么位置误差大? 为什么?

附录 1-1 磁电系仪表

各种直流电表都属于磁电系仪表,这类仪表是由磁电系测量机构和测量线路两部分组成的。

一、磁电系仪表的工作原理

磁电系仪表的测量机构如附图 1-1 所示,它的固定部分是马蹄形永久磁铁 1、极掌 2 及圆柱形铁心 3。活动部分包括铝框及绕在铝框上的线圈 4,前后两根半轴 O 、 O' ,游丝 5 和指针 6 等。



附图 1-1 磁电系测量机构

1- 磁铁;2- 极掌;3- 铁心;4- 铝框及线圈;5- 游丝;6- 指针。

当电流 I 通过游丝流入线圈时,线圈在磁场中产生电磁力矩 M ,使可动部分绕 OO' 轴转动,转动力矩为

$$M \propto I$$

同时与动圈固定在一起的游丝因动圈的偏转而发生变形,从而产生反作用力矩 M_f , M_f 与指针的偏转角 α 成正比,即

$$M_f \propto \alpha$$

当 $M = M_f$ 时,可动部分将不再转动而停留在平衡位置上,这时偏转角与输入电流的关系为

$$\alpha \propto I$$

如果在仪表刻度盘上直接按电流值刻度,仪表标尺上的刻度就是线性的。而且偏转方向与电流方向有关,当电流反向时偏转也跟着反向。若仪表接入交流电路,由于在一个周期内的平均驱动力矩为零,其指针将停在零位,所以磁电系测量机构只能测量直流电量。

这种结构的特点是性能稳定,灵敏度和精确度高,消耗能量小,刻度均匀但过载能力小。

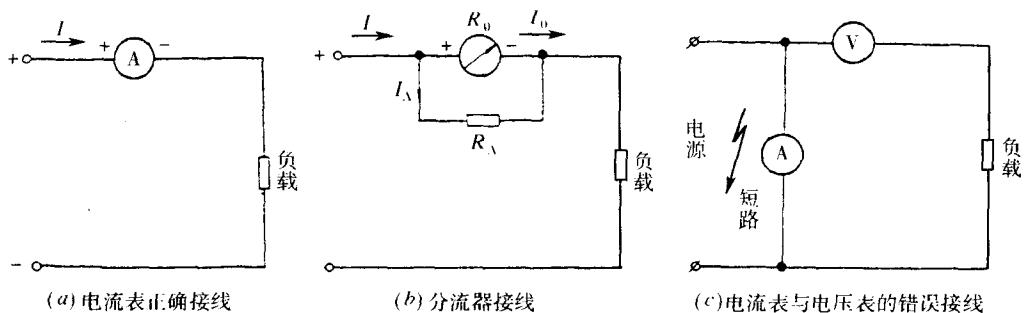
二、电流的测量

测量直流电流通常用磁电系电流表,电流表应串联在被测电路中,如附图 1-2(a)所示。在直流电流表接入电路时应注意电流从(+)端流入,(-)端流出,否则指针将反转而无法读数。为了使电路的工作状态不因接入电流表而受影响,电流表的内阻必须很小。因此在使用时还应注意电流表决不能并联在电路的两端,否则电流表将被烧坏。

磁电系电流表测量机构在测量直流电流时,由于线圈的导线很细,电流又要流过游丝,所以只允许流过很小的电流(一般只允许在 10mA 以内),不能直接测量较大的电流。为了扩大它的量程,一般在测量机构上并联一个称为分流器的低值电阻 R_A ,如附图 1-2(b)所示。这样通过磁电系电流表表头的电流 I_0 只是被测电流 I 的一部分,两者的关系是

$$I_0 = I \times \frac{R_A}{R_0 + R_A}$$

由上式可知,需要扩大的量程越大,则分流器的电阻 R_A 应越小。多量程电流表具有几个标有不同量程的接线端,这些接线端可分别与仪表内部相应阻值的分流器并联。但大电流的分流器是接在仪表外面的。在使用时应根据被测电流大小,选择不同的量程,一般量程取为被测量的(1.2~2)倍。

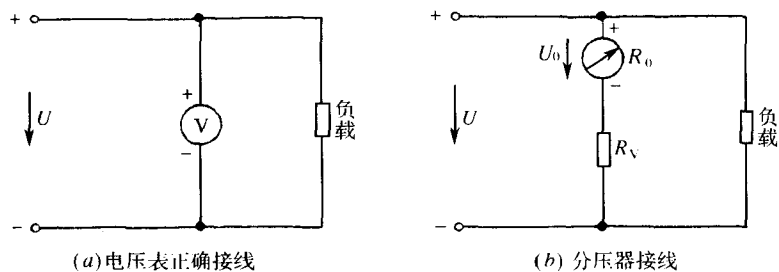


附图 1-2 电流表与分流器

三、电压的测量

测量直流电压通常用磁电系电压表,电压表在电路中必须并联在被测支路的两端,同时也要注意电压表的接线端有(+)、(-)极性之分,如附图 1-3 所示,如果极性接反指针将反转。为了使电路工作不因接入电压表而受影响,电压表的内阻必须很大。而测量机构的电阻 R_0 是不大的,所以必须串联一个称为分压器的高值电阻 R_V ,如附图 1-3(b)所示,这样就使电压表的量程扩大。由附图 1-3(b)可得

$$\frac{U}{U_0} = \frac{R_0 + R_V}{R_0} \quad U_0 = U \times \frac{R_0}{R_0 + R_V}$$



附图 1-3 电压表与分压器

由上式可知,需要扩大的量程越大,则分压器的电阻 R_V 应越大。多量程电压表的表面上具有几个标有不同量程的接线端,这些接线端可分别与表内相应阻值的分压器串联。使用时应根据被测电压的大小,选择不同的量程,同电流表一样,要求被测量必须小于仪表的量程。

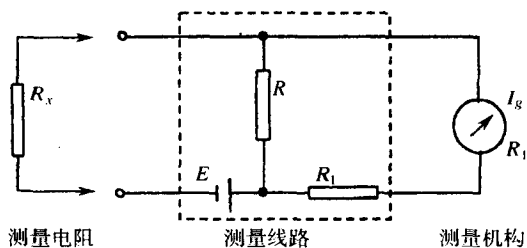
四、电阻的测量

磁电系测量机构配上适当测量线路还可以构成测量电阻用的欧姆表。但现在的被测量是电阻,一个无源量。为把无源的电阻转化为通入测量机构的电流,测量线路中除了要有电阻之外,还要有电源。附图 1-4 是欧姆表的简单原理图。

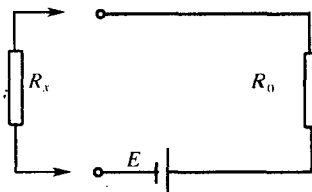
根据欧姆定律,当电源电压给定时,电流 I 与回路中的电阻成反比

$$I = \frac{E}{R_0 + R_x}$$

式中 R_0 是 R 、 R_1 和 R_i 组合后的等效电阻。如附图 1-5 所示,当 $R_x = 0$ 时, I 最大; $R_x \rightarrow \infty$ 时, $I = 0$ 。可见欧姆表的刻度与电压表、电流表的刻度不同:测大电阻时指针偏转小,测小电阻时指针偏转大,而且电阻的刻度是不均匀的。



附图 1-4 欧姆表的简单原理

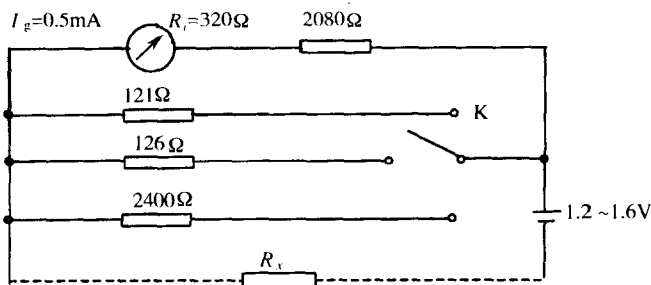


附图 1-5 电阻测量原理

欧姆表的总内阻 R_0 称为中值电阻。因为,当 $R_x = 0$ 时,流过电源的电流 $I = I_0$ ($I_0 = E/R_0$),这时分配到测量机构中的电流是 I_g 。若 $R_x = R_0$ 时,电源电流 $I = E/(R_0 + R_x) = E/2R_0 = I_0/2$,此时分配到测量机构中的电流按比例减小为 $I_g/2$,仪表指针的偏转为满偏转的一半,指针指到刻度盘的正中,刻在这里的电阻值应等于 R_0 的数值,所以 R_0 叫做欧姆表的中值电阻。

由上可见,在刻度盘右半段上刻度的电阻范围是 $0 \sim R_0$ 的数值;左半段是 $R_0 \sim \infty$ 的

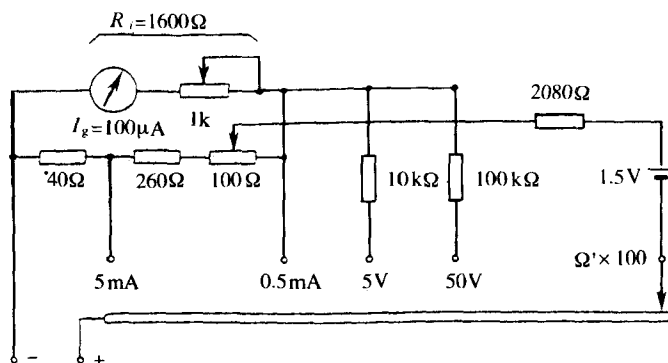
数值;左半段靠近 ∞ 的一端分布甚密不宜读数。所以欧姆表测电阻时,为了容易读数,要使指针偏转到容易读数的中段($\frac{1}{10}R_0 \sim 10R_0$),越接近刻度盘中心,读数越准确。这就要根据所测电阻的数量级,像改变电流量限那样,去改变欧姆表的中值电阻 R_0 的值。如改变附图1-4电路中的并联电阻 R ,可使 R_0 改变。附图1-6是欧姆表的具体电路,开关 K 拨到不同位置可把中值电阻提高10倍、100倍。



附图1-6 欧姆表的中值电阻

五、万用表的简单原理及使用

为了使用方便,常把不同量限的电流、电压、电阻的测量线路组合到一起,成为附图1-7所示的万用表电路。

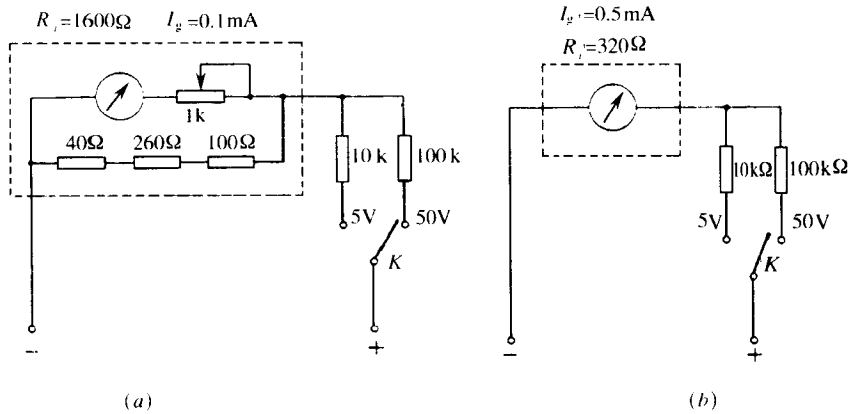


附图1-7 万用表的简单原理

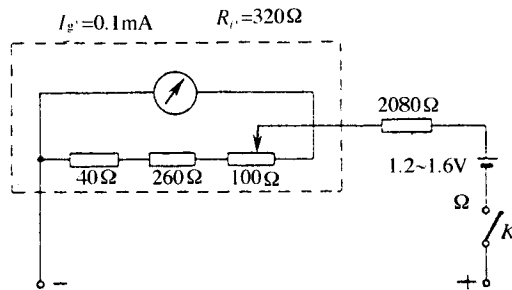
1. 转换开关 K 拨到5mA和0.5mA时可以测电流。给测量机构串联1kΩ可变电阻是因为内阻 R_i 的数值不完全一样,改变可变电阻值可把测量机构这条支路的电阻调整得一样,例如等于1600Ω。这样,测量线路中的其它电阻就可按图示数值选取,可成批制造。

2. 当 K 拨到5V和50V时可以测电压,电路如附图1-8(a)所示。图中虚线所示的部分,可以等效为 $I_g' = 0.5\text{mA}$ 、 $R' = 320\Omega$ 的磁电系测量机构,如图1-8(b)所示,图中的降压电阻为近似值。

3. 当开关 K 拨到 Ω 挡时,就得到如附图1-9所示的电路。它和附图1-6的电路有两点差别。第一,这里不是采用并联电阻的办法,其中值电阻为2400Ω。第二,这里的2080Ω电阻接在100Ω电位器的活动端,这是因为在使用过程中电池的电压会逐渐降低



附图 1-8 万用表测量电压



附图 1-9 万用表测量电阻

(1.6~1.2V),从测量电阻的原理可知, E 的改变会给测量带来误差。例如,若是 $E = 1.2\text{V}$, $R_x = 0$ 时, $I = 0.5\text{mA}$,指针正好指在 0Ω 。而换上新电池 $E = 1.6\text{V}$ 后,当 $R_x = 0$ 时, I 必将大于 0.5mA ,指针必将偏过 0Ω 。为了减小由于电池的电压改变所引起的误差,实际的万用表中采用了如附图 1-9 所示的“调零电位器”。当 $R_x = 0$ 时,只要电池的电压在容许的范围内,就总可以调节电位器的活动端,改变电流的分配关系,使电表指针指在 0Ω 上。

实际的万用表电路要比附图 1-7 所示的电路复杂,但是按照这里给出的办法去分析,它的原理是能够搞清楚的。

万用表的测量项目和量程多,稍有马虎,就容易出错,甚至损坏仪表,所以在使用万用表时应注意下列事项:

1. 测量直流电流时,要选好量程,看好读哪一行刻度,把表串联到被测电路中。
2. 测量直流电压时,要选好量程,看好读哪一行刻度,把表并联到被测电压支路两端。
3. 用欧姆挡测量电阻时,要根据被测电阻的大致范围选好中值电阻。先将电表的两个测量端短路(相当于令 $R_x = 0$),调整调零电位器,使指针指在 0Ω ,再将被测电阻接到测量端,这时仪表指针所指的就是被测电阻。
4. 用欧姆挡测量时,用的是仪表内部的电源,要把被测电路和外电源断开,否则外电