

职业教育课程改革规划新教材

电工电子技术 实训项目教程

Dian Gong Dian Zi Ji Shu
Shi Xun Xiang Mu Jiao Cheng

杨 屏 主编

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



电子教案

职业教育课程改革规划新教材

电工电子技术实训项目教程

主 编 杨 屏
副主编 李 刚
参 编 张 红 季振荣



机械工业出版社

本书是遵循“工学结合”以及“做学教一体化”的原则，结合职业教育的培养目标，坚持“以全面素质为基础，以能力为本位”的宗旨，针对电工电子实践教学和基本技能训练要求而编写的教材。

本书精选了测试线性电阻的伏安特性曲线，验证基尔霍夫定律，认识电容并测试容抗，测试串联谐振电路，测量三相交流电路，计量数字万用表交流电压档位，测试整流滤波电路，测试单管放大电路，设计、测试集成运算放大电路和设计电子计时器十个基本实验项目，以及万用表测试基本电量、示波器测试电参数和使用信号源三个常用仪器仪表的使用技巧项目。在每个项目中着重讲述操作规范、工具设备使用技巧，注重培养学生良好的职业习惯、安全意识以及科学严谨的实验态度。

本书适用于职业院校工科专业电类基础课程一体化教学教材，也可作为相关专业技术人员岗位培训用书。

为便于教学，本书配有免费电子教案，凡选用本书作为教材的教师，均可登录 www.cmpedu.com 注册、下载。

图书在版编目 (CIP) 数据

电工电子技术实训项目教程/杨屏主编. —北京: 机械工业出版社, 2011.10

职业教育课程改革规划新教材

ISBN 978-7-111-35829-9

I. ①电… II. ①杨… III. ①电工技术-职业教育-教材②电子技术-职业教育-教材 IV. ①TM②TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 184811 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 高倩 责任编辑: 高倩 关晓飞 版式设计: 霍永明

责任校对: 樊钟英 封面设计: 鞠杨 责任印制: 杨曦

北京双青印刷厂印刷

2011 年 11 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 8.5 印张 · 204 千字

0 001 - 3 000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-35829-9

定价: 22.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心: (010) 88361066

门户网: <http://www.cmpbook.com>

销售一部: (010) 68326294

教材网: <http://www.cmpedu.com>

销售二部: (010) 88379649

读者购书热线: (010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

前 言

本书是遵循“工学结合”的原则，结合职业教育的培养目标，坚持“以全面素质为基础，以能力为本位”的宗旨，针对电工电子实践教学和基本技能训练要求而编写的教材。

本书是在总结了职业教育一线教师多年来电工电子教学改革实践经验和实验教学成果的基础上编写的，包括十个基本实验项目和三个常用仪器仪表的使用技巧项目。本书在编写中特别注重培养学生规范化操作习惯，力求打造学生扎实的实验操作基本功和良好的安全意识。

本书的特点主要有以下几个方面：

1) 突出基础地位。本书适用于工科类专业。在项目设置上又服务于电工基础、模拟电子技术和数字电子技术（即所谓“三电”）的专业基础课程。

2) 注重层次教学。实验从原来的单纯性验证性实验向综合性、研究性实验转化，突出了对于实验数据的事后处理要求，避免了以往实验中学生通过简单的测量读数就可以完成实验的做法，让学生在实验中充分体会到整体实验的内涵和测试的意义。实验强调电路中各种参数变化对于实验的影响，强调实验误差的产生和处理方法，最大限度地接近工作领域的实际测量。

3) 实验步骤清晰。在每个实验项目中，对于相应的实验步骤都有清晰明确的实验图例，方便学生对照检查。实验过程中可以根据要求逐步完成实验内容和相应实验报告，适合学生边做边学。

4) 拓展专业知识。每个项目之后都配有相应的知识拓展内容，如无线万用表的使用、数字示波器的发展、认识频谱仪等对于常规实验仪表的拓展项目；认识安培、伏特、欧姆、法拉第、基尔霍夫、赫兹等科学家的知识拓展项目；了解莱顿瓶、远程输电、摩尔定律、焊接方法等应用拓展项目。力图在学生的课本知识以外，提供更广阔的空间，来完成好电工电子实验学习。

本书分为十三个项目，按照基本的电工基础、模拟电子技术、数字电路的教学进程设置实验项目，实验中有基本实验原理的知识回顾，对于数字万用表、信号源和数字示波器的使用有非常清晰实用的操作方法介绍和测量技巧的讲解。本书所涉及的实验仪表和电路元器件都是常用元器件，便于各院校各专业选择使用。

本书由北京电子科技职业学院杨屏、李刚、张红和天津滨海新区塘沽河头中学季振荣共同编写，项目内容大都来自长期的教学实践积累。由于编者水平有限，书中难免存在不足和错误，恳请读者批评指正。

目 录

前言	
项目一 万用表测试基本电量	1
项目二 测试线性电阻的伏安特性曲线	11
项目三 验证基尔霍夫定律	20
项目四 示波器测试电参数	25
项目五 使用信号源	43
项目六 认识电容并测试容抗	53
项目七 测试串联谐振电路	62
项目八 测量三相交流电路	69
项目九 计量数字万用表交流电压档位	79
项目十 测试整流滤波电路	87
项目十一 测试单管放大电路	97
项目十二 设计、测试集成运算放大电路	108
项目十三 设计电子计时器	117
参考文献	129

项目一 万用表测试基本电量

团队名称：_____ 团队成员：_____ 执行时间：_____

【目标】

掌握万用表测量电阻、电流、电压的基本方法

掌握数字万用表的基本操作技能

了解实验室的安全规定和各项管理规定

1. 基本知识点：欧姆定律

万用表测量原理

2. 基本技能点：能够利用数字万用表测量电流和电压

能够利用数字万用表测量电阻

能够利用数字万用表检测线路的通断

能够正确选择量程测量

【实施】

一、前期材料准备

本项目所使用的设备主要有：可变直流电源（0 ~ 15V）一台，负载电阻若干（1k Ω 、5.1k Ω 、100k Ω 和 195k Ω ），数字万用表一块，连接导线若干。在项目实施前后，对所使用仪表和设备进行检查，完成表 1-1。

表 1-1 实验仪表设备检查表

名称	规格描述	使用前状况	使用后状况	备注
可变直流电源				
数字万用表				
电阻				
连接导线				

二、基本理论讲解

万用表（Multimeters）又称多用表，可以用来测量直流电流、直流电压和交流电流、交流电压以及电阻等电路参数，有的万用表还可以用来测量电容、电感以及二极管、晶体管的某些参数。

常见的万用表有指针式和数字式两种。指针式万用表主要由指示部分、测量电路、转换装置三部分组成。图 1-1 为 MF500 型万用表的外观。

MF500 型万用表是一种传统的万用表，其生产历史较长，性能稳定，应用非常广泛。

许多维修资料中所标注的电阻、电压参考值都标明是用 MF500 型万用表测得的。该万用表的缺点：一是采用两只旋钮交替选择量程和档位，操作不便且容易搞错；二是电压、电流刻度有些档需要折算，读数不够直观；三是没有设置交流电流档和测量晶体管放大倍数的插座。另外，该表外形略显笨重，比较适合于在固定场合使用。

MF47 型万用表也是一款经典的指针式万用表，其外观如图 1-2 所示。该表表盘较大，并设有能消除视差的反光镜，读数直观清晰。只用一只旋钮选择各量程，标度尺与量程选择开关指示盘按交流红色、晶体管绿色、其余黑色对应印制成红、绿、黑三色，使量程转换便捷、测量读数鲜明。该万用表的造型也比较美观，表壳呈扁平状，可作为一般中型表使用。其缺点是没有设置交流电流档，应用受到一定的限制。

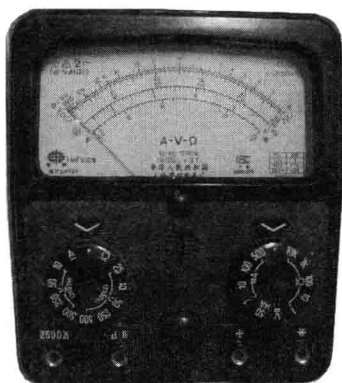


图 1-1 MF500 型万用表的外观



图 1-2 MF47 型万用表的外观

对于指针式万用表而言，最大的劣势在于不能直观显示测量值。数字式万用表是把连续的被测模拟电参量自动变成断续的，并以十进制数字编码方式自动显示测量结果的一种电测量仪表。数字式万用表具有输入阻抗高、误差小、读数直观的优点，随着大规模集成电路技术的发展和成熟，数字式万用表的稳定性越来越好，价格越来越便宜，从而应用场合也越来越普遍。

数字式万用表的测量基础是直流数字电压表，其他功能都是在此基础上扩展而成的。为了完成各种测量功能，必须增加相应的转换器，将被测量转换成直流电压信号，再经过 A/D 转换变成数字量，最后通过液晶显示器以数字形式显示出来。其原理框图如图 1-3 所示。



图 1-3 数字式万用表的原理框图

在原理框图中，转换器将各种被测量转换成直流电压信号，A/D 转换器将随时间连续变化的模拟量转换成数字量，然后由电子计数器对数字量进行计数，再通过译码显示电路将测量结果显示出来。

数字式万用表的显示位数通常为“三位半”到“八位半”，位数越多，测量精度越高，但是位数多的，其价格也高。一般实验室用的是三位半或四位半数字式万用表，即显示数字的位数分别是四位和五位，但其最高位只能显示数字“0”或“1”，称为“半位”，其后几位数字可以显示数字 0~9，称为整数位。图 1-4 为 MY61 型数字式万用表的外观。

MY61 型数字式万用表是一种稳定、高可靠性的手持式三位半数字万用表，整机电路设计以大规模集成电路、双积分 A/D 转换器为核心并配以全功能过载保护，可用来测量直流和交流电压，直流和交流电流，电阻、电容、二极管、晶体管等的参数。

MY61 型数字式万用表有 32 档量程，具备自动关机功能，显示屏采用 30mm × 60mm LCD 显示。这是一种较为流行的数字式万用表，其主要测量技术指标见表 1-2。

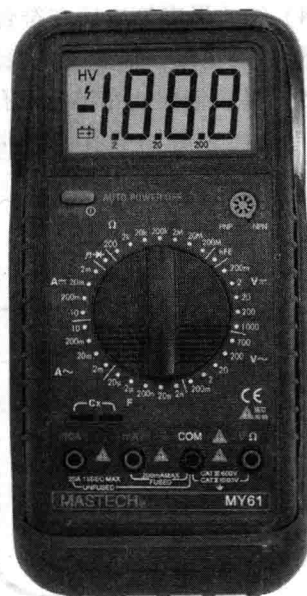


图 1-4 MY61 型数字式万用表的外观

表 1-2 主要测量技术指标

测量项目	范围和精度
直流电压	200mV/2/20/200V, ±0.5% 1000V, ±0.8%
交流电压	200mV, ±1.2% 2/20/200V, ±0.8% 700V, ±1.2%
直流电流	20μA, ±2% 200μA/2mA/20mA, ±0.8% 200mA/2A, ±1.5% 10A, ±2%
交流电流	200mA/2A, ±1.8%; 2/20mA, ±1.0%; 10A, ±3%
电阻	200Ω/2/20/200kΩ/2MΩ, ±0.8%; 20MΩ, ±1.0%; 200MΩ, ±5.0%
二极管	正向直流电流约为 1mA, 反向直流电压约为 2.8V

三、任务分解实施

(一) 选择表笔

[规范操作指导]

- 1) 使用前将万用表开关置于“ON”位置。
- 2) 取出测量表笔，表笔如图 1-5 所示。
- 3) 检查表笔绝缘层，应完好，无破损和断线。

4) 红、黑表笔应插在符合测量要求的插孔内, 保证接触良好。通常情况下, 红表笔代表测量时的正极, 黑表笔代表测量时的负极。

5) 黑表笔要插在黑色插孔“COM”中, 如图 1-6 所示。红色表笔要根据所测量的项目和量程选择表笔的插孔: 测量电压和电阻时, 选择最右侧的“V Ω”插孔; 测量小电流(低于 200mA) 时选择“mA”插孔; 如测量的电流较大, 选择最左侧的“10A”插孔。

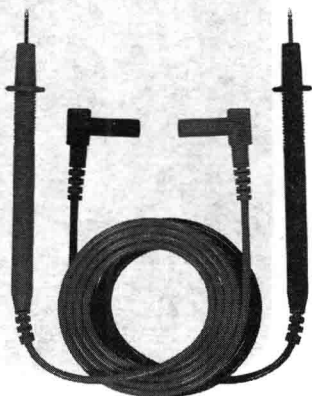


图 1-5 万用表测量表笔



图 1-6 万用表表笔插孔

6) 当显示屏出现“E”时, 说明万用表电池电量不足, 应更换电池, 否则会影响测试结果的准确性。

(二) 选择量程

万用表的量程选择拨盘如图 1-7 所示。中间拨盘开关箭头所指的位置是被选择的测试量程, 图 1-7 中选择的是测量电阻值, 测量范围是 200kΩ。从量程选择拨盘可以看出, 该万用表可以测试的项目有电阻值、直流电压值、交流电压值、直流电流值、交流电流值、电容值、二极管、三极管等。

[规范操作指导]

拨盘开关周围的数值, 是选择该档位量程时所能测试的最大值。若被测值高于该量程最大测试值时, 液晶显示屏将只显示最左侧一位“1”, 以此表明测试结果已经超出量程, 需扩大量程再进行测试。量程拨盘开关与表笔相互配合, 完成测试。在转换量程时, 应先停止测试, 待转换量程后再重新开始测试, 切忌在持续测量中转换量程, 以免造成万用表的损坏。

(三) 测量电阻

[规范操作指导]

1) 测量电阻时, 红表笔至于最右侧“V Ω”插孔, 拨盘开关选择电阻档, 在无法预测电阻值时, 可先选择最大量程, 后根据测试情况调整量程再进行准确测试。

2) 以测量标称值为 195kΩ 的电阻为例, 选择测量电阻 200k 档位, 红、黑表笔并联在电阻的两端(红表笔在上, 黑表笔在下, 见图 1-8), 万用表显示为 196.0, 即测得的结果是该电阻值为 196kΩ。

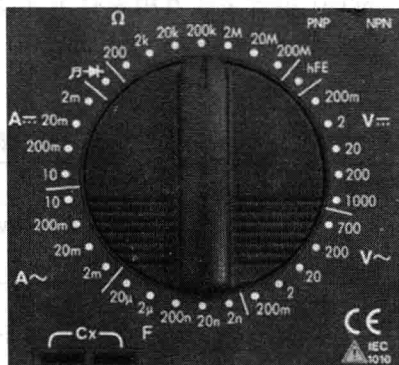


图 1-7 万用表的量程选择拨盘

若调换红、黑表笔的位置，使红表笔在下、黑表笔在上（见图 1-9），万用表显示仍为 196.0，即测得的结果是该电阻值仍为 196k Ω 。

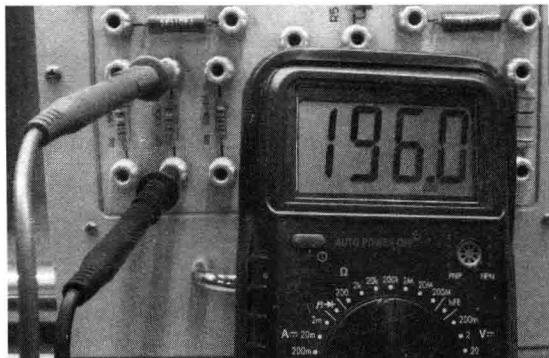


图 1-8 测量电阻

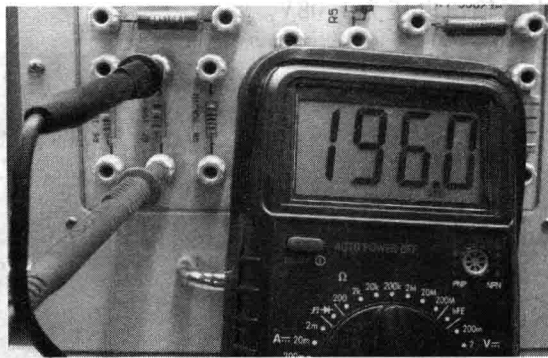


图 1-9 表笔反接测量电阻

由此可见，测量电阻时，红、黑表笔的位置关系不会影响最终的测量结果。

3) 选择三个电阻，在每个量程下分别测试，测试时表笔并联在电阻两端，如图 1-10 所示（无正负关系）。记录每个电阻在各个量程时万用表的显示结果，并将结果填入表 1-3 中。

表 1-3 电阻测试记录表

测试量程	1k Ω 电阻	5.1k Ω 电阻	100k Ω 电阻
200M			
20M			
2M			
200k			
20k			
2k			
200			

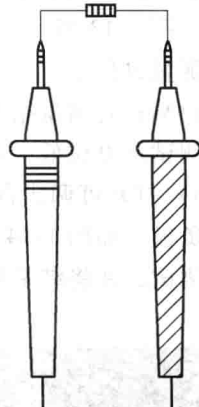


图 1-10 测量电阻示意图

在测量中，可通过调换红、黑表笔位置，验证表笔位置是否对实际测试结果有影响。

4) 根据测试结果，判定不同电阻应选择量程，完成表 1-4。

表 1-4 电阻测试总结表

电阻值	1k Ω	5.1k Ω	100k Ω
应选择量程			
测量结果			

(四) 测量直流电压

[规范操作指导]

1) 测量直流电压时，红表笔置于最右侧“V Ω ”插孔，拨盘开关选择直流电压档位，如图 1-11 所示。直流电压测试量程共分为五个档位，即 200mV、2V、20V、200V 和 1000V。在无法预测电压值时，可先选择较大量程，后根据测试情况调整量程进行准确测试。

实验室所提供的直流电压通常在安全电压（即 36V）以下，本书中所涉及的实验直流电压都在安全电压以下。

2) 以测量直流电源输出电压为例, 红色表笔应接在高电位一端 (电源正极), 黑色表笔应接在低电位一端 (电源负极), 此时万用表显示电源输出电压。如图 1-12 所示, 直流电源输出电压为 1.08V。

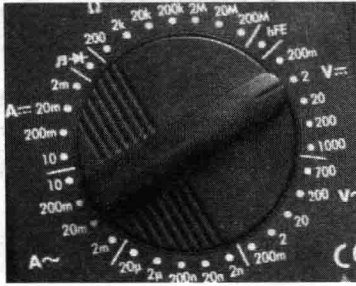


图 1-11 直流电压档位

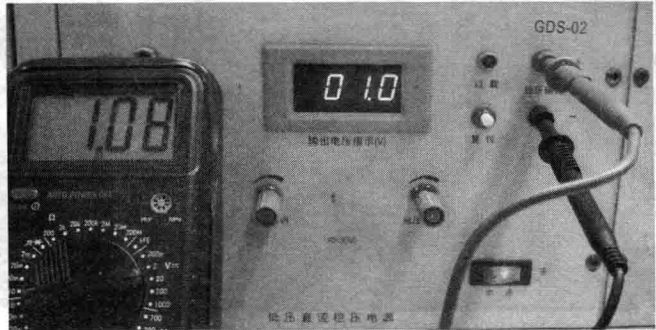


图 1-12 测量电压时红表笔在高电位

若将红、黑表笔反接, 即红表笔接电源负极, 黑表笔接电源正极, 此时的测量结果为负值, 如图 1-13 所示。

测量过程中, 红、黑表笔应并联在被测负载的两端。测量结果为正时, 说明红表笔接在高电位端; 若测量结果为负时, 说明红、黑表笔接反, 即此时黑表笔所测试点电位高, 红表笔所测试点电位低, 可互换表笔测试点。

3) 打开可调式直流电源, 用万用表直接测量电源输出, 红表笔接电源正极, 黑表笔接电源负极, 如图 1-14 所示。在电源输出指示分别为 1.0、2.0、5.0、10.0 时, 在每个量程分别测试, 并将结果填入表 1-5 中。

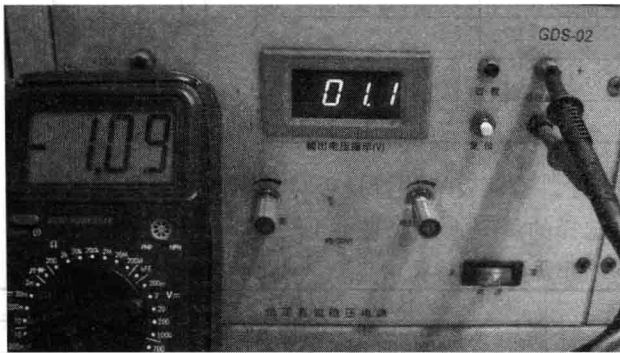


图 1-13 测量电压时黑表笔在高电位

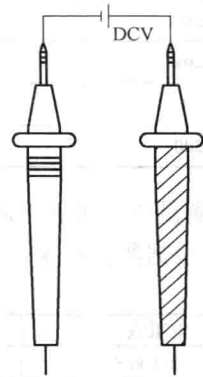


图 1-14 测量电压示意图

表 1-5 直流电压测试记录表

测试量程	1.0	2.0	5.0	10.0
2m				
20m				
200m				

4) 根据测量结果, 判定不同直流电压应选择的量程, 完成表 1-6。

表 1-6 直流电压测试总结表

直流电源显示值	1.0	2.0	5.0	10.0
应选择量程				
测量结果				

(五) 测量直流电流

[规范操作指导]

1) 测量直流电流时,红表笔置于“A”插孔,拨盘开关选择直流电压档位,如图 1-15 所示。直流电压测试量程共分为四个档位,即 2mA、20mA、200mA 和 10A。其中,测量 10A 档位要配合表笔在最左侧“10A”红插孔一起使用。在无法预测电流值时,可先选择最大量程,后根据测试情况调整量程进行准确测试。

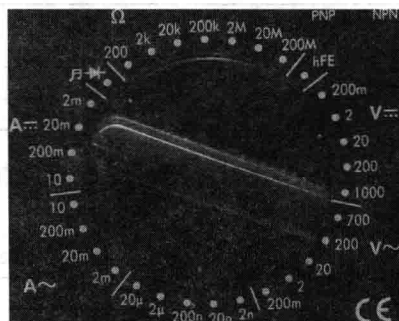


图 1-15 直流电流档位

本书中所涉及的实验直流电流都在 100mA 以下。

2) 将直流电压档位打到 20mA 档,红、黑表笔应串联进入被测电路,若红色表笔到黑色表笔方向为电流实际电流方向,测量电流结果为 3.00mA,如图 1-16 所示。

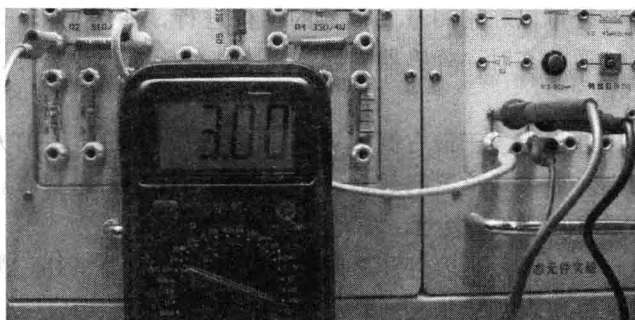


图 1-16 测量电流方向与实际方向一致

若将红、黑表笔反接,即黑表笔到红色表笔方向为实际电流方向时,测量结果为 -3.00mA,如图 1-17 所示。

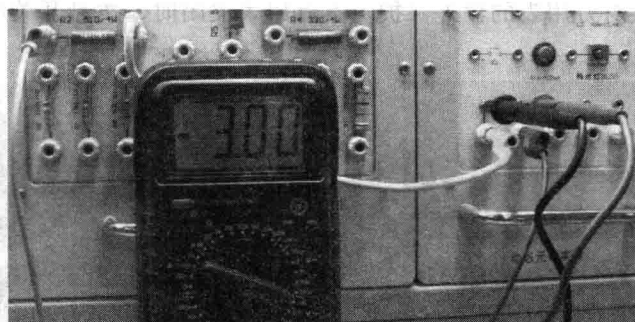


图 1-17 测量电流方向与实际方向相反

综上所述,测量电流过程中如万用表显示被测电流为正值时,说明测试电流方向与实际电流方向一致;若测量结果为负值时,说明红、黑表笔接反,即此时测试电流方向与实际电

流方向相反，可互换表笔测试点。

3) 打开可调式直流电源，设计测试电路如图 1-18 所示。将万用表串联进入电路，红表笔接电阻端，黑表笔接电源负极，选择 1kΩ 电阻作为测试负载。在电源输出指示分别为 1.0、2.0、5.0、10.0 时，在每个量程分别测试，并将结果填入表 1-7 中。

表 1-7 直流电流测试记录表

测试量程	1.0	2.0	5.0	10.0
2m				
20m				
200m				

4) 根据测量结果，判定不同直流电流应选择的量程，完成表 1-8。

表 1-8 直流电流测试总结表

直流电源显示值	1.0	2.0	5.0	10.0
应选择量程				
测量结果				

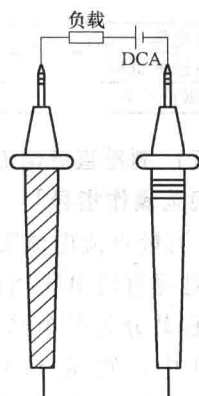


图 1-18 测量电流示意图

(六) 测量线路通断

测量线路的通断与否可以利用测量二极管的档位进行，如图 1-19 所示。该档位有一个蜂鸣器，当线路处于接通状态时，蜂鸣器响起；当线路处于断开状态时，没有声音。

[规范操作指导]

测量线路通断时，红表笔置于最右侧“V Ω”插孔，与测量电阻的方法一致，将表笔分别接在测试线路的两端。如果蜂鸣器响起，证明该两点间处于通路状态。测试中请注意应将导线垂直放置，而不是平放于实验台上。

测量前万用表应自检，即万用表打开后调整到此测试档位，将红、黑表笔短接，蜂鸣器应响起；否则，应检查万用表自身状况。

(七) 关闭万用表

[规范操作指导]

万用表不使用时应将其关闭，开关置于“OFF”状态。拨盘开关的位置应置于交流电压最大档位，以此提供对万用表的额外保护。本万用表关闭时，拨盘开关应指向交流 700V 档位，如图 1-20 所示。

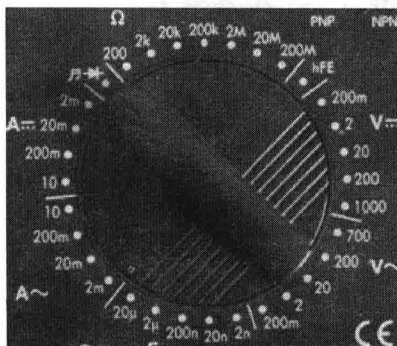


图 1-19 测试线路通断的档位



图 1-20 关闭万用表的档位

【拓展】

无线万用表

万用表的未来发展方向除了精确测量之外，就是希望实现“远程”测量，实现无线万用表。便携式电子测试和无线测量技术的结合造就了无线万用表。

将无线通信技术和万用表电气测量技术成功地结合在一起，使远程无线测量的读数变成现实，为下一代数字万用表的发展树立了新的标杆。利用低功耗的 2.4GHz 无线网络，可实现测试数据无线传递。无线万用表如图 1-21 所示。

Fluke233 使用已经成熟的低功耗 2.4GHz ISM 频段无线通信机制，实现了万用表主机和可分离显示模块之间的稳定可靠的无线数据传输，从而突破了传统万用表在读数和测量空间上的限制和局限性，使得用户可以将测量工作和读数工作“分居两地”完成，大大提高了测量和读数的灵活性，同时也让用户远离有潜在危险或者难于接近的测量目标，让工作更安全更高效（见图 1-22）。



图 1-21 无线万用表



图 1-22 利用无线万用表测量

Fluke 233 的无线数据传输的稳定可靠性体现在万用表主机和分离显示模块之间的一一对应的加密适时对话机制，它保证多个 233 同时工作的时候互相不会“串话”，并且即使在没有测量数据传输的时候，它们之间依然能保持联系。另外，分离显示模块上的信号强度显示也直观地提醒用户是否超出有效通信距离。可分离的显示屏还内置了磁铁，可将其吸附在更易于读数的平整表面，方便读数。

除了创新的无线通信技术和可分离的显示屏设计，Fluke233 本身也是一款功能齐全、精准的万用表。Fluke233 以及它附带的表笔都符合 CATIV600V/CAT III 1000V 安全等级，测量的最大电压为交流和直流 1000V，测量的最大电流为 10A，测量电容为 10000 μ F，测量频率高达 50kHz，并可以自动地捕获最小值/最大值和平均值读数。它带有内置接触测温仪，用户无需另外携带仪表，便可轻松地获取温度读数。仪表本体采用三节 AA 电池供电；显示屏配备两节 AA 电池。电池的平均使用寿命为 400h。

【总结】

一、分析与思考

总结万用表使用技巧，填写表 1-9。

表 1-9 万用表使用技巧

任务	表笔选择	量程选择	使用技巧
测电阻			
测电压			
测电流			
测通断			
关表			

二、收获与体会

答：

项目二 测试线性电阻的伏安特性曲线

团队名称：_____ 团队成员：_____ 执行时间：_____

【目标】

学习常用仪器仪表的正确使用及简单电路的连接方法

掌握电阻伏安特性曲线的测试方法

了解实验数据处理的意义和方法

1. 基本知识点：元件的伏安特性曲线

线性电阻和欧姆定律

数据处理与分析曲线

2. 基本技能点：能够完成常规仪表的检查和使用的

能够识别色环电阻

能够利用数字万用表测量电流和电压

能够描绘伏安特性曲线并分析误差

【实施】

一、前期材料准备

本项目所使用的设备主要有：可变直流电源（0~15V）一台，负载电阻（510Ω）若干，待测电阻（600Ω和2kΩ）若干，数字万用表两块（或电压表、电流表各一块），连接导线若干。在项目实施前后，对所使用仪表和设备进行检查，完成表2-1。

表 2-1 实验仪表设备检查单

名称	规格描述	使用前状况	使用后状况	备注
可变直流电源				
数字万用表				
电阻				
连接导线				

二、基本理论讲解

当一个元件两端加上电压且元件内有电流通过时，电压与电流之比称为该元件的电阻。利用欧姆定律求导体电阻的方法称为伏安法，它是测量电阻的基本方法之一。实验测量被测电阻两端的电压和流过该电阻的电流时，利用欧姆定律计算得到电阻值 $R = \frac{U}{I}$ 。为了研究材料的导电性，通常作出其伏安特性曲线（在平面直角坐标线下，横坐标代表电压，纵坐标

代表电流), 以便了解其电压与电流的关系。伏安特性曲线是直线的元件称为线性元件 (见图 2-1a), 伏安特性曲线不是直线的元件称为非线性元件 (见图 2-1b), 这两种元件的电阻都可以用伏安法测量。

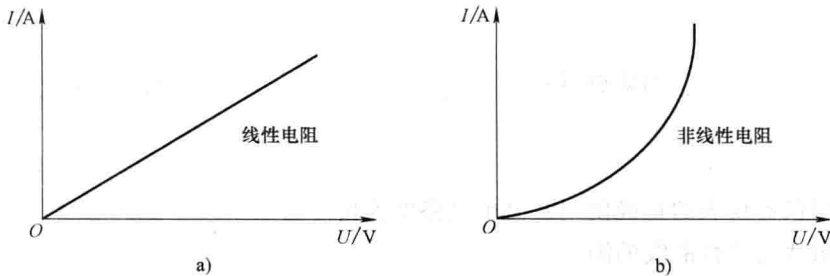


图 2-1 线性元件与非线性元件

一般而言, 金属导体的电阻是线性电阻, 它与外加电压的大小和方向无关, 其伏安特性曲线是一条直线, 如图 2-1a 所示。若调换电阻两端电压的极性, 电流也将换向, 而电阻始终为一定值, 等于直线斜率的倒数, 即 $R = \frac{U}{I}$ 。

图 2-2a ~ f 分别为线性电阻、白炽灯泡、普通二极管、稳压二极管、隧道二极管和直流稳压电源的伏安特性曲线。

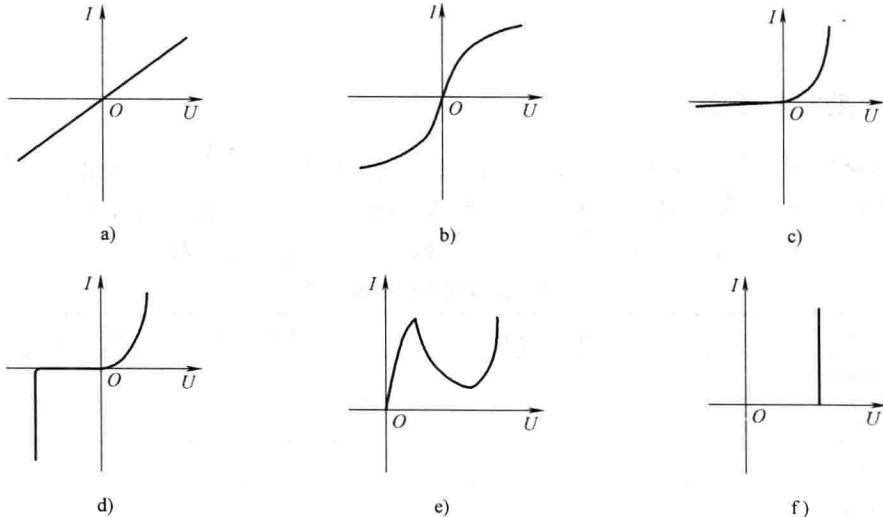


图 2-2 几种元件的伏安特性曲线

对于线性电阻而言, 在同一平面内, 将不同电阻的伏安特性曲线进行比较, 如图 2-3 所示。可以得出如下结论:

在相同电压 U_0 作用下, 流过三个电阻 R_1 、 R_2 、 R_3 的电流值相比, $I_1 > I_2 > I_3$ 。根据欧姆定律, $R = \frac{U}{I}$, 比较三个电阻值得到 $R_1 < R_2 < R_3$ 。

从线性电阻的伏安特性曲线可以看出, 电阻直线的斜率越小, 即直线越靠近 X 轴, 电