



全国普通高等院校“十二五”精品课程适用



高职高专电类教学做一体化新模式

电路分析与实践

● 主 编 陈吉芳
副主编 刘传林
高爱云
张远辉
主 审 王丽娟



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

电路分析与实践

主 编 陈吉芳

副主编 刘传林 高爱云 张远辉

参 编 陈荣勤 黄杰灵

主 审 王丽娟

第1章 电路的基本概念和定律	第2章 电阻电路的分析和计算	第3章 正弦交流电路	第4章 动态电路的分析和计算
第5章 三相电路	第6章 非正弦周期电流电路	第7章 耦合电感电路	第8章 耦合电容电路
第9章 互感和 Mutual Inductance	第10章 变压器	第11章 理想变压器	第12章 双口网络
第13章 功率	第14章 最大功率传输	第15章 电路的暂态分析	第16章 一阶电路的暂态分析
第17章 二阶电路的暂态分析	第18章 正弦稳态电路的功率分析	第19章 交流电路的功率因数校正	第20章 交流电路的谐振
第21章 交流电路的功率因数校正	第22章 交流电路的谐振	第23章 交流电路的功率因数校正	第24章 交流电路的谐振
第25章 交流电路的功率因数校正	第26章 交流电路的谐振	第27章 交流电路的功率因数校正	第28章 交流电路的谐振
第29章 交流电路的功率因数校正	第30章 交流电路的谐振	第31章 交流电路的功率因数校正	第32章 交流电路的谐振
第33章 交流电路的功率因数校正	第34章 交流电路的谐振	第35章 交流电路的功率因数校正	第36章 交流电路的谐振
第37章 交流电路的功率因数校正	第38章 交流电路的谐振	第39章 交流电路的功率因数校正	第40章 交流电路的谐振
第41章 交流电路的功率因数校正	第42章 交流电路的谐振	第43章 交流电路的功率因数校正	第44章 交流电路的谐振
第45章 交流电路的功率因数校正	第46章 交流电路的谐振	第47章 交流电路的功率因数校正	第48章 交流电路的谐振
第49章 交流电路的功率因数校正	第50章 交流电路的谐振	第51章 交流电路的功率因数校正	第52章 交流电路的谐振
第53章 交流电路的功率因数校正	第54章 交流电路的谐振	第55章 交流电路的功率因数校正	第56章 交流电路的谐振
第57章 交流电路的功率因数校正	第58章 交流电路的谐振	第59章 交流电路的功率因数校正	第60章 交流电路的谐振
第61章 交流电路的功率因数校正	第62章 交流电路的谐振	第63章 交流电路的功率因数校正	第64章 交流电路的谐振
第65章 交流电路的功率因数校正	第66章 交流电路的谐振	第67章 交流电路的功率因数校正	第68章 交流电路的谐振
第69章 交流电路的功率因数校正	第70章 交流电路的谐振	第71章 交流电路的功率因数校正	第72章 交流电路的谐振
第73章 交流电路的功率因数校正	第74章 交流电路的谐振	第75章 交流电路的功率因数校正	第76章 交流电路的谐振
第77章 交流电路的功率因数校正	第78章 交流电路的谐振	第79章 交流电路的功率因数校正	第80章 交流电路的谐振
第81章 交流电路的功率因数校正	第82章 交流电路的谐振	第83章 交流电路的功率因数校正	第84章 交流电路的谐振
第85章 交流电路的功率因数校正	第86章 交流电路的谐振	第87章 交流电路的功率因数校正	第88章 交流电路的谐振
第89章 交流电路的功率因数校正	第90章 交流电路的谐振	第91章 交流电路的功率因数校正	第92章 交流电路的谐振
第93章 交流电路的功率因数校正	第94章 交流电路的谐振	第95章 交流电路的功率因数校正	第96章 交流电路的谐振
第97章 交流电路的功率因数校正	第98章 交流电路的谐振	第99章 交流电路的功率因数校正	第100章 交流电路的谐振



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

地址：北京市西城区德胜门内大街2号 邮编：100089 电话：010-68993800

发行：全国各地新华书店

内 容 提 要

本书是高职高专电类专业“教学做一体化”教学改革“十二五”规划试用教材。

本书设置四大学习情境、十一个工作项目和三十四个工作任务。本书的四大学习情境分别是直流稳态电路的分析与检测、交流稳态电路的分析与检测、动态电路的分析与测试和耦合线圈与磁路分析。其中学习情境一包括万用表的组装与使用、简单直流电路的分析与检测和复杂直流电路的分析与检测三个工作项目,学习情境二包括日光灯电路的安装与测量、谐振电路的分析及应用、三相电路的联接与测量和非正弦周期电流电路的分析与仿真四个工作项目,学习情境三包括RC电路的响应与测试、RL电路的响应与测试两个工作项目,学习情境四包括耦合线圈的分析与测量、交流铁芯线圈的分析与测量两个工作项目。本书还设置了“万用表的组装与故障排除”和“电气照明电路的设计与安装”两个综合实训。

本书适合高职高专电类专业师生使用,也可供电类工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电路分析与实践 / 陈吉芳主编. — 北京: 中国水利水电出版社, 2011.8
ISBN 978-7-5084-8832-5

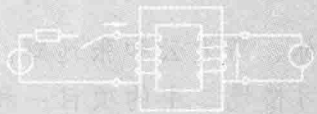
I. ①电… II. ①陈… III. ①电路分析—高等职业教育—教材 IV. ①TM133

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第167399号

书 名	电路分析与实践
作 者	主 编 陈吉芳 副主编 刘传林 高爱云 张远辉 主 审 王丽娟
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	三河市鑫金马印装有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 19.5印张 462千字
版 次	2011年8月第1版 2011年8月第1次印刷
印 数	0001—3000册
定 价	36.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究



前言

本书是高职高专电类专业“教学做一体化”教学改革“十二五”规划试用教材。本书以情境、项目、任务为主线，以实际、实践、实用为原则，对传统教学内容进行了大胆取舍和补充。本书注重能力、知识和素质等综合能力的培养，体现高职高专教改特色。其主要特点是：

1. 体现“教学做一体化”等教学改革理念。本书打破传统电路理论体系，强调电路实践操作能力培养，以实用电路分析为基础，设置四大学习情境、十一个工作项目和三十四个工作任务。每一工作任务按“先做，后学，再练，拓展”的思路展开，体现“工学结合、学做练相结合及可持续发展”等高职高专职业教育理念。

2. 体现“理论与实践一体化”的高职高专教改特色。本书采用“任务驱动式”教材结构，每个工作任务为一个知识单元，按“工作任务、知识链接、拓展知识和优化训练”框架编写，主题鲜明，重点突出，具有良好的弹性和便于综合等特点，适应理论与实践一体化教学的需求。

3. 注重教学内容的整合和补充。本书一方面将电工仪表、电路理论与电工考证有机地统一起来，补充了电工考证仪表——万用表、钳形电流表、兆欧表和接地电阻测量仪等；另一方面以电工仪器仪表、常见实用电路为载体，从熟悉电工仪器仪表、熟悉实用电路入手，再引出相关电路理论知识，使学生在技能训练中加深了对理论知识的理解和应用，培养了学生的综合职业能力。

4. 对难于用硬件实验实施的内容，本书采用仿真实验引入工作任务。对“非正弦周期电流电路的分析”和“动态电路的分析”若要从做传统硬件实验引入，操作性和直观性都不够好，效果也欠理想。而采用仿真实验引入，操作性强，直观性好，更能获得理想效果，也免去了接线操作的麻烦和安全隐患。

5. 注重能力、知识和素质等综合能力的培养。本书设置了“万用表的组

装与故障排除”和“电气照明电路的设计与安装”两个综合实训，对培养学生的职业能力和综合素养起了支撑作用。

本书由陈吉芳担任主编并统稿。副主编有刘传林、高爱云和张远辉。其中学习情境一的项目一至项目三由陈吉芳编写，学习情境二中的项目一和项目三由高爱云编写，学习情境二中的项目二和项目四及学习情境三由刘传林编写，学习情境四的项目一至项目二由张远辉编写。本书由广东水利电力职业技术学院副院长王丽娟担任主审。参加编写的还有杜邦中国集团有限公司防护科技部陈荣勤高级应用研究员和广东省粤电资产经营有限公司流溪河水电厂黄杰灵副总工程师。

在本书的编写过程中，参考借鉴了不少同行编写的优秀教材，并从中受到教益和启发，在此向各位编者表示衷心的感谢！由于编者水平有限，且时间仓促，书中难免有疏漏和不足之处，恳请读者批评指正。

作者

2011年6月

目 录

前言

学习情境一 直流稳态电路的分析与检测 1

项目一 万用表的组装与使用 1

任务一 万用表及其使用 1

任务二 电路常用元器件的识别、应用与检测 14

综合实训一 万用表的组装与故障排除 24

项目二 简单直流电路的分析与检测 33

任务一 电流电压等物理量的测量与分析 33

任务二 探究电路欧姆定律 46

任务三 探究基尔霍夫定律 52

任务四 直流电桥的使用与分析 59

任务五 电源元件的识别与应用 76

项目三 复杂直流电路的分析与检测 89

任务一 用基尔霍夫定律分析求解电路 89

任务二 用叠加定理分析求解电路 96

任务三 用戴维宁定理分析求解电路 100

学习情境二 交流稳态电路的分析与检测 111

项目一 日光灯电路的安装与测量 111

任务一 用示波器观测正弦交流电 112

任务二 日光灯电路的安装与电压、电流测量 120

任务三 正弦交流电路中的 R、L、C 元件分析 129

任务四 RLC 串联电路的测量与分析 145

任务五 测量日光灯电路的有功功率及其交流参数 154

任务六 提高日光灯电路的功率因数 166

综合实训二 电气照明电路的设计与安装 169

项目二 谐振电路的分析及应用 172

任务一 RLC 串联谐振电路及其测量 172

任务二 并联谐振电路及其测量 179

项目三 三相电路的联接与测量 184

任务一 三相对称交流电源的联接与测量 184

任务二 三相负载的星形联接与测量 190

任务三 三相负载的三角形联接与测量	197
任务四 三相交流电路功率的测量	202
项目四 非正弦周期电流电路的分析与仿真	209
任务一 非正弦周期信号的谐波分析与仿真	209
任务二 非正弦周期量的有效值、平均值、有功功率及其测量	219
学习情境三 动态电路的时域分析与测试	225
项目一 RC 电路的响应与测试	225
任务一 电容器的放电过程仿真与分析	225
任务二 电容器的充电过程仿真与分析	232
项目二 RL 电路的响应与测试	238
任务一 发电机励磁绕组的灭磁过程分析	238
任务二 用“三要素法”分析求解一阶电路	246
学习情境四 耦合线圈与磁路分析	253
项目一 耦合线圈的分析与测量	253
任务一 耦合线圈同名端的测定	253
任务二 耦合线圈互感的测量	262
任务三 用兆欧表测量电动机绕组对地的绝缘电阻	268
项目二 交流铁芯线圈的分析与测量	272
任务一 用磁路基本定律分析简单磁路	273
任务二 用示波器观测交流铁芯线圈的电压、电流波形	283
任务三 交流铁芯线圈等效参数的测定	286
附录	293
附录一 常用电测量指示仪表的表面标记	293
附录二 用计算器进行复数运算	295
附录三 常用电气照明图例符号	296
附录四 常用电气照明文字标注	297
附录五 部分习题参考答案	298
参考文献	304

学习情境一 直流稳态电路的分析与检测

项目一 万用表的组装与使用

项目教学目标

1. 职业技能目标

- (1) 会正确使用万用表测量电阻、直流电流、直流电压和交流电压等。
- (2) 会识别电阻器、电感器和电容器，能用万用表对电阻器、电感器和电容器进行简单检测。

2. 职业知识目标

- (1) 了解万用表的结构与工作原理，掌握万用表的使用方法。了解电工测量基础知识。
- (2) 了解电阻器、电感器和电容器的外观、分类、特性、应用、主要参数、识别方法和检测方法。

3. 素质目标

- (1) 具有认真仔细的学习态度、工作态度和严格的组织纪律。
- (2) 具有规范意识、安全生产意识和敬业爱岗精神。
- (3) 具有独立学习能力、拓展知识能力以及承受压力能力。
- (4) 具有良好沟通能力、良好团队合作能力和创新精神。

任务一 万用表及其使用



工作任务

一、认识指针式万用表

在使用万用表前，先要做好以下4项准备工作。

- (1) 熟悉万用表的转换开关、旋钮、插孔等位置及其作用。
- (2) 了解刻度盘上各条刻度线所对应的被测电量。“mA”表示毫安，“A”表示安培，“Ω”表示欧姆，“C”表示电容，“L”表示电感，“dB”表示分贝。
- (3) 检查红色和黑色两根表笔所接的位置是否正确，红表笔插入“+”插孔，黑表笔插入“-”插孔。如用交直流2500V测量端，注意应使用专测高压的表笔，在测量时将黑表笔插入“-”插孔，红表笔插入高压插孔。
- (4) 进行机械调零，旋动万用表面板上的机械调零螺钉，使指针对准刻度盘左端的

“0”位置。

二、指针式万用表的使用

1. 用万用表电阻档测量电阻

用万用表电阻档测量所给出的 5 个电阻，并将结果记录在表 1-1-1 中。

表 1-1-1 用万用表电阻档测量电阻

R 标称值 (Ω)	4.7	47	470	47k	4.7M
R 测量值 (Ω)					

2. 用万用表直流电压档测量直流电压

(1) 按图 1-1-1 接线，先把直流电压源输出电压调节为 5V，然后用万用表测量其大小，并将结果记录在表 1-1-2 中。

(2) 分别把直流电压源输出电压调节为 10V、15V、20V、30V、50V、80V 和 100V，同样用万用表测量其输出电压大小，并将结果记录在表 1-1-2 中。

表 1-1-2 用万用表直流电压档测量直流电压

电压值 (V)	5	10	15	20	30	50	80	100
测量值 (V)								

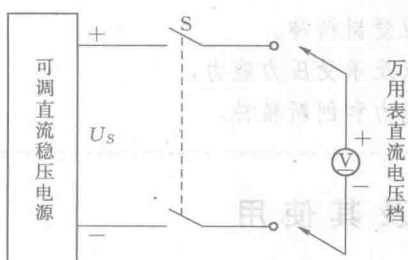


图 1-1-1 用万用表直流电压档测量直流电压

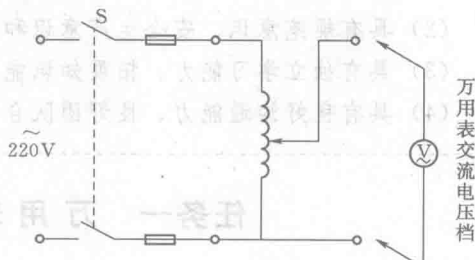


图 1-1-2 用万用表交流电压档测量交流电压

3. 用万用表交流电压档测量交流电压

(1) 按图 1-1-2 接线，先用单相调压器把交流输入电压从 220V 降低为 25V，然后用万用表测量其电压值，并将结果记录在表 1-1-3 中。

表 1-1-3 用万用表交流电压档测量交流电压

电压值 (V)	25	50	70	100	150	180	200	220
测量值 (V)								

(2) 再用单相调压器把交流输入电压从 25V 逐渐上升为 50V、70V、100V、150V、180V、200V 和 220V，同样用万用表测量其输出电压大小，并将结果记录在表 1-1-3 中。

4. 用万用表直流电流档测量直流电流

(1) 按图 1-1-3 连接电路，电阻 R 取 $5\text{k}\Omega$ 。

(2) 用万用表直流电流档测量直流电流，并将读数记录在表 1-1-4 中。

(3) 计算电阻，并作伏安特性曲线。

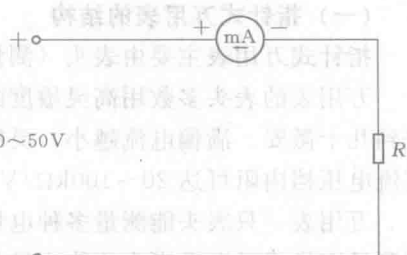


图 1-1-3 用万用表直流电流档测量直流电流

表 1-1-4

用万用表直流电流档测量直流电流

U (V)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
I (mA)										
R ($\text{k}\Omega$)										



知识链接

一、万用表的结构和使用

万用表又称万能表，是一种多用途、多量限的仪表，可以测量直流电阻、直流电压、交流电压、直流电流和音频电平，有的万用表还可以测量交流电流、电容、电感以及晶体管参数等。实际工作中常运用万用表判断电源性质和极性、变压器及互感器的极性（后面的学习情境中将会介绍）。万用表有指针式万用表和数字式万用表两种。图 1-1-4 所示为两种万用表的面板图。



(a) 指针式



(b) 数字式

图 1-1-4 万用表面板图

(一) 指针式万用表的结构

指针式万用表主要由表头（测量机构）、测量线路和转换开关组成。

万用表的表头多数用高灵敏度的磁电系测量机构，表头的满刻度偏转电流一般为几微安到几十微安。满偏电流越小，灵敏度就越高，测量电压时的内阻就越大。一般万用表的直流电压档内阻可达 $20 \sim 100 \text{ k}\Omega/\text{V}$ ，交流电压档内阻一般要低一些。

万用表一只表头能测量多种电量，并具有多种量限，关键是通过测量线路的变换，把被测测量变换成磁电系表头所能测量的直流电流。可见，测量线路是万用表的中心环节。一只万用表，它的测量功能越多，范围越广，测量线路就越复杂。

转换开关是万用表选择不同测量种类和不同量限的切换元件。旋转量程档位转换开关，可选择不同的量程测量不同的电量如电阻（ Ω ）、直流电压（DCV）、交流电压（ACV）及直流电流（DCA）。

(二) 指针式万用表的使用

在使用万用表前，先要做好准备工作后，再进行各电量的测量。

1. 测量电阻

(1) 把转换开关调至电阻档（ Ω ），选择合适的倍率（如 $R \times 1$ 、 $R \times 10$ 、 $R \times 100$ 、 $R \times 1 \text{ k}\Omega$ ）。万用表欧姆档的刻度线是不均匀的，所以倍率的选择以使指针停留在刻度线较稀的部分为宜，一般情况下，应使指针指在刻度尺的 $\frac{1}{3} \sim \frac{2}{3}$ 之间。

(2) 欧姆调零。测量电阻前，将两表笔短接，这时指针应指在“ 0Ω ”上，否则应转动欧姆调零电位器进行校正。每换一档量程，都要重新调零。如果转动欧姆调零电位器不能使指针调到“ 0Ω ”上，则说明表内的电池电能已用尽，需要更换电池。

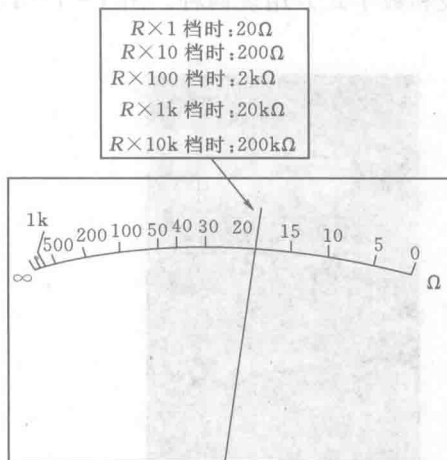


图 1-1-5 万用表欧姆档的读数方法

(3) 将被测电阻同其他元器件或电源脱离，单手持表棒并跨接在电阻两端。

(4) 读数时，用表头指针显示的读数乘所选量程的倍率即为所测电阻的阻值。图 1-1-5 示例中，当测量选择开关位于“ $R \times 1$ ”时，指示值为 20Ω ；当测量选择开关位于“ $R \times 10$ ”时，指示值为 200Ω ；当测量选择开关位于“ $R \times 1 \text{ k}$ ”时，指示值为 $20 \text{ k}\Omega$ ；依次类推。

用万用表测量电阻时的注意事项如下：

(1) 不允许带电测量电阻，否则会烧坏万用表。

(2) 万用表内干电池的正极与面板上“—”号插孔相连，干电池的负极与面板上的“+”号插孔相连。在测量电解电容和晶体管等器件的电阻时要注意极性。

(3) 每换一次倍率档，要重新进行欧姆调零。

(4) 不允许用万用表电阻档直接测量高灵敏度表头内阻，以免烧坏表头。

(5) 不准用两只手捏住表笔的金属部分测电阻, 否则会将人体电阻并接入被测电阻而引起测量误差。

(6) 测量完毕, 将转换开关置于交流电压最高档或空档。

2. 测量直流电流

(1) 把转换开关调至直流电流档 (DCA), 选择合适的量程。当被测量的范围不清楚时, 应先选用最高量程档, 再逐步选用合适档位。测量时, 应使指针最好偏转在满刻度的 $\frac{1}{3} \sim \frac{2}{3}$ 左右。

(2) 将被测电路断开, 万用表串接于被测电路中, 红表笔接正 (+) 极, 黑表笔接负 (-) 极。

(3) 根据指针稳定时的位置及所选量程正确读数。电流表指示的读数方法是: 满度值 (刻度线最右边) 等于所选量程档位数, 根据表针指示位置折算出测量结果。图 1-1-6 示例中, 当测量选择开关位于 “0.05 mA” 档时, 指示值为 $35\mu\text{A}$; 选择开关位于 “5mA” 档时, 指示值为 3.5 mA; 选择开关位于 “500mA” 档时, 指示值为 350mA。

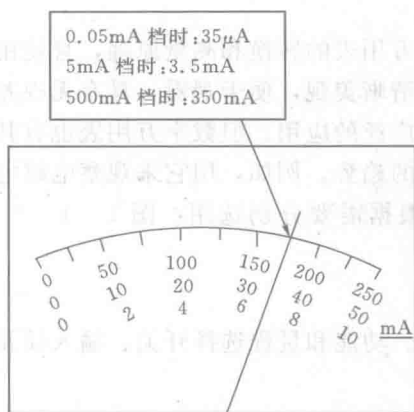


图 1-1-6 万用表电流档的读数方法

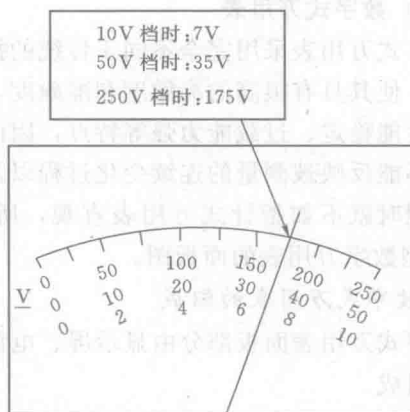


图 1-1-7 万用表电压档的读数方法

3. 测量直流电压

(1) 把转换开关调至直流电压档 (DCV), 选择合适的量程。当被测量的范围不清楚时, 应先选用最高量程档, 再逐步选用合适档位。测量时, 应使指针最好偏转在满刻度的 $\frac{1}{3} \sim \frac{2}{3}$ 左右。

(2) 将万用表并接入被测电路中, 红表笔接被测电压的正 (+) 极, 黑表笔接被测电压的负 (-) 极, 不能接反。如预先不知正负极, 应置于较高量程档, 用表笔轻碰一下被测位置, 根据指针的偏转方向确定正负极性。

(3) 根据指针稳定时的位置及所选量程正确读数。电压表指示的读数方法是: 满度值 (刻度线最右边) 等于所选量程档位数, 根据表针指示位置折算出测量结果。图 1-1-5 示例中, 当测量选择开关位于 “10V” 档时, 指示值为 7V; 选择开关位于 “50V” 档时, 指示值为 35V; 选择开关位于 “250V” 档时, 指示值为 175V。

4. 测量交流电压

(1) 把转换开关调至交流电压档 (ACV), 选择合适的量程。当被测量的范围不清楚时, 应先选用最高量程档, 再逐步选用合适档位。测量时, 应使指针最好偏转在满刻度的

$$\frac{1}{3} \sim \frac{2}{3}。$$

(2) 将万用表两根表笔并接在被测电路的两端, 无正负极之分。

(3) 根据指针稳定时的位置及所选量程正确读数, 读数方法与测量直流电压时相同, 但需要注意的是其读数为交流电压的有效值。

用万用表测量电压或电流时的注意事项如下:

(1) 测量时, 不能用手触摸表笔的金属部分, 以保证人身安全和测量的准确性。

(2) 测直流量时要注意被测量的极性, 避免指针反打而损坏表头。

(3) 测量较高电压或大电流时, 不能带电转动转换开关, 避免转换开关的触点产生电弧而被损坏。

(4) 测量完毕后, 将转换开关置于交流电压最高档或空档。

(三) 数字式万用表

数字式万用表采用完全不同于传统的指针式万用表的转换和测量原理, 且使用液晶数字显示, 使其具有很高的灵敏度和准确度, 显示清晰美观, 便于观看, 具有无视差、功能多样、性能稳定、过载能力强等特点, 因而得到广泛的应用。但数字万用表也有其不足之处, 它不能反映被测量的连续变化过程以及变化的趋势。例如, 用它来观察电解电容的充放电过程时就不如指针式万用表直观, 所以应根据需要分别选用。图 1-1-4 (b) 是 DT890 型数字万用表的面板图。

1. 数字式万用表的组成

数字式万用表面板部分由显示屏、电源开关、功能和量程选择开关、输入插孔、输出插孔等组成。

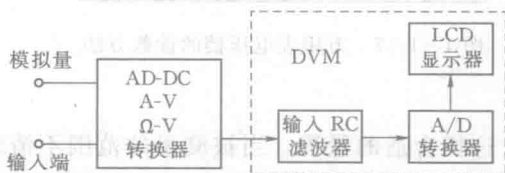


图 1-1-8 数字式万用表的组成

如图 1-1-8 所示, 虚线框内表示直流数字式电压表 (DVM), 它由 RC 滤波器、A/D 转换器、LCD 液晶显示器组成。在数字式电压表的基础上再增加交流—直流 (AD-DC)、电流—电压 (A-V)、电阻—电压 (Ω-V) 转换器, 就构成了数字式万用表。

数字式万用表是在数字电压表的基础上拓展而来的, 因此, 首先必须进行被测参数与直流电压之间的转换, 由信号变换电路完成。由变换电路变换而来的直流电压经电压测量电路在微处理器 (或逻辑控制电路) 的控制下, 将模拟电压量转换成数字量后, 再经译码、驱动最后显示在液晶或数码管显示屏上。

2. 数字式万用表的使用方法

(1) 使用前的准备工作。将黑表笔插入“COM”插孔内, 红表笔插入相应被测量的插孔内, 然后将转换开关旋至被测种类区间内并选择合适的量程, 量程选择的原则和方法与指针式万用表相同, 将电源开关调至“ON”的位置, 接通表内工作电源。

(2) 电阻的测量。将红表笔连线插入“V/ Ω ”插孔内,黑表笔连线插入“COM”插孔内,将量程开关旋至“ Ω ”区间并选择适当的量程,便可进行测量。要注意,数字式万用表红表笔的电位比黑表笔的电位高,即红表笔为“+”极,黑表笔为“-”极,这一点与指针式万用表正好相反,测量时要注意显示值的单位与“ Ω ”区间内各量程上所标明的单位(Ω 、 $k\Omega$ 、 $M\Omega$)相对应。

(3) 直流电流、交流电流的测量。测量直流电流时,当被测电流小于200mA时,将红表笔插入“mA”插孔内,黑表笔置于“COM”插孔,将转换开关旋至“DCA”或“A-”区间内,并选择适当的量程(2mA、20mA、200mA),将万用表串入被测电路中,显示屏上即可显示出读数。测量结果单位是毫安。如果被测量的电流值大于200mA,则量程开关置于“10”档,同时要将红表笔插入“10A”插孔内,显示值以安培为单位。

测量交流电流时,将量程开关旋至“ACA”或“A~”区间的适当量程上,其余与测量直流电流相同。

(4) 直流电压、交流电压的测量。测量直流电压时,将红表笔连线插入“V/ Ω ”插孔内,黑表笔连线置于“COM”插孔,将量程开关旋至“DCV”或“V-”区间内,并选择适当的量程,通过两表笔将仪表并联在被测电路两端,显示屏上便显示出被测数值。一般直流电压档有200mV、2V、20V、200V、1000V等几档,选择200mV档时,则显示的数值以mV为单位;置于其他4个直流电压档时,显示值均以V为单位。测量直流电压和电流时,不必像使用指针式万用表时考虑“+”、“-”极性问题,当被测电流或电压的极性接反时,显示的数值前会出现“-”号。

测量交流电压时,将量程开关旋至“ACV”或“V~”区间的适当量程上,表笔所在插孔及具体测量方法与测量直流电压时相同。

二、电工测量知识介绍

(一) 电测量指示仪表的分类和型号

1. 电测量指示仪表的分类

测量电量(如电流、电压、功率、相位、频率、电阻、电感及电容)的指示仪表,称为电测量指示仪表。电测量指示仪表的种类很多,分类方法也很多,但常见的分类方法有下面几种。

(1) 根据仪表的工作原理可分为磁电系、电磁系、电动系、感应系、静电系、整流系和热电系等。

(2) 根据被测量的特征可分为电流表、电压表、功率表、欧姆表、电能表、频率表、相位表、功率因数表、兆欧表、接地电阻测量仪和万用表等。

(3) 根据被测量的性质可分为直流仪表、交流仪表及交直流两用仪表等。

(4) 按仪表的使用方法可分为安装式仪表和便携式仪表。

(5) 按仪表的准确度等级可分为0.1, 0.2, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 5.0共七个等级。

(6) 按仪表对外电磁场的防御能力可分为I、II、III、IV四级。I级电表的防御能力最强,在外界电磁场作用下所引起的附加误差最小。

(7) 按仪表的使用条件可分为A、B、C三组。A组仪表的工作温度为0~+40℃;B

组仪表的工作温度为-20~+50℃；C组仪表的工作温度为-40~+60℃。

2. 电测量指示仪表的型号

电测量指示仪表的产品型号是按规定的标准编写的，安装式和便携式指示仪表型号的编制规则不同。

安装式仪表符号的基本组成如图 1-1-9 所示。两位形状代号表示仪表的面板、外壳形状尺寸编制，系列代号表示仪表的工作原理系列，如磁电系用 C、电磁系用 T、电动系用 D、感应系用 G、整流系用 L、静电系用 Q 表示等。

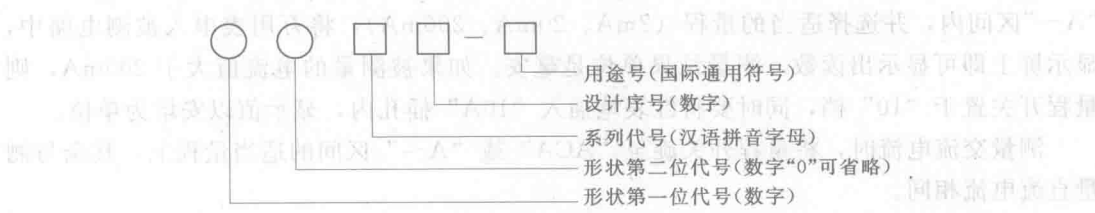


图 1-1-9 安装式仪表符号的基本组成

例如 44C2-A 型直流电流表：“44”代表形状代号，表示外形和尺寸；“C”表示磁电系仪表；“2”为设计序号；“A”表示测量电流流量。对便携式仪表，则不用形状代号。第一位为组别号，即表示仪表的工作原理系列，其余部分的组成形式和安装式仪表相同。

除了指示类仪表外，其他各类仪表的型号还应在组别号前再加一个类别号，也用汉语拼音字母表示。如电能表用 D、电桥用 Q、数字电表用 P 等。

(二) 电测量指示仪表的组成及工作原理

1. 电测量指示仪表的组成

电测量指示仪表的种类很多，但它们的主要作用都是将被测电量转换成仪表可动部分的偏转角位移。电测量指示仪表由测量线路和测量机构组成。测量机构是仪表的核心，包括可动部分和固定部分，用来测量被测量数值的指示器安装在可动部分上。通常指示器可分为指针式和光标式两种。

2. 测量机构的主要作用

(1) 产生转动力矩。要使仪表的指示器转动，测量机构必须有转动力矩作用于可动部分。转动力矩一般由固定部分和可动部分之间通过电磁场相互作用产生。常用电测量指示仪表转动力矩的产生方式如表 1-1-5 所示。

表 1-1-5 常用电测量指示仪表转动力矩的产生方式

仪表类型	产生转动力矩方式
磁电系	由固定的永久磁铁与通有直流电流的可动线圈相互作用产生
电磁系	由通有电流的固定线圈与可动铁片相互作用（或处在磁场中的两块铁片相互作用）产生
电动系	由通有电流的固定线圈与通有电流的可动线圈相互作用产生
感应系	由通有交流电流的固定线圈与在可动铝盘中所感应的电流相互作用产生

转动力矩 M 的大小通常是被测量 x 和可动部分的偏转角位移 α 的函数，即

$$M=F_1(x,\alpha)$$

(2) 产生反作用力矩。作用于活动部分, 用来平衡转动力矩 M 。反作用力矩 M_a 的方向与转动力矩相反, 大小是仪表活动部分偏转角位移 α 的函数, 即 $M_a = F_2(\alpha)$ 。

当转动力矩和反作用力矩相互平衡的时候, 活动部分就会停止在平衡位置上。

(3) 产生阻尼力矩。阻尼力矩的作用是使仪表的活动部分更迅速地静止在平衡位置上, 缩短摆动时间, 阻尼力矩只在运动过程中产生, 当活动部分静止时, 便自动消失, 因此它不影响测量结果。

(三) 电测量指示仪表的表面标记

在每一个电测量指示仪表的表面上都会有许多标记符号, 它们表征了该仪表的主要技术特性。只有在识别了它们之后, 才能正确地选择和使用仪表。常用的电测量指示仪表的部分表面标记符号见附录一, 供使用时参考 (详细内容可查阅国家标准 GB/T7676.1—1998 中的规定)。

(四) 测量误差分析

测量的目的是获得被测量的真实值, 然而由于受到测量工具的不准确、测量手段的不完善、周围环境的影响及测量工作中的疏忽或错误等, 将使测量值与真值之间总是存在差异。这种差异就称为测量误差。被测量所具有的真实大小称为该被测量的真值。

1. 测量误差的分类

测量误差按其性质和特点, 可分为系统误差、随机误差和粗大误差三类。

系统误差是指在一定的测量条件下, 误差的绝对值和符号保持恒定, 或按某种确定的规律变化的误差。系统误差包括仪表误差、方法误差、外界误差、操作误差和人员误差等。

随机误差亦称偶然误差。随机误差是指在测量过程中, 误差的绝对值和符号均发生变化, 其值时大时小, 其符号时正时负, 没有确定的变化规律, 也就是不可以预料的误差。随机误差主要是由于外界因素的偶然变化引起的。

粗大误差又称疏失误差, 简称粗差。粗大误差是指在一定条件下, 测量值显著地偏离其真实值 (或实际值) 所对应的误差。粗大误差主要是由读数错误、记录错误、仪器故障、测量方法不合理、操作方法不正确、计算错误以及不能允许的干扰等原因造成的。

2. 测量误差的表示方法

测量误差通常可表示为三种基本情况: 绝对误差、相对误差和引用误差。

绝对误差 (ΔA) 定义为测量值 (A) 与真值 (A_0) 之差, 即

$$\Delta A = A - A_0 \quad (1-1-1)$$

由式 (1-1-1) 可知, 因此测量中可引入修正值 (C) 的概念, 用以补偿测量结果的误差。 $C = -\Delta A$, 即修正值与绝对误差绝对值相等, 符号相反, 引入修正值后, $A_0 = A + C$ 。

绝对误差一般用于单次测量结果的误差计算及几个仪表测量同一量的误差比较。

相对误差 (γ) 定义为绝对误差 (ΔA) 与真值 (A_0) 之比, 即

$$\gamma = \frac{\Delta A}{A_0} \times 100\% \quad (1-1-2)$$

当测量值与真值较接近时相对误差也可表示为

$$\gamma = \frac{\Delta A}{A} \times 100\% \quad (1-1-3)$$

在实际测量中都用相对误差来评价测量结果的准确度。

引用误差 (γ_n) 定义为绝对误差 (ΔA) 与仪表的测量上限 A_m (即仪表的满刻度值) 之比, 即

$$\gamma = \frac{\Delta A}{A_m} \times 100\% \quad (1-1-4)$$

由于仪表的测量上限是产品的固定值, 而仪表的绝对误差又大体保持不变, 所以可用引用误差来表示仪表的准确度。

3. 仪表的准确度

指示仪表的准确度, 是用仪表的最大引用误差来表示的。指示仪表在测量值不同时, 其绝对误差多少有些变化, 为了使引用误差能包括整个仪表基本误差, 工程上规定以最大引用误差来表示仪表的准确度。准确度用百分数来表示, 即

$$\pm K\% = \frac{\Delta A_m}{A_m} \times 100\% = \gamma_m \quad (1-1-5)$$

式中 K ——仪表的准确度;

ΔA_m ——仪表绝对误差的最大值;

A_m ——仪表的测量上限;

γ_m ——引用误差的最大值。

准确度表明了仪表基本误差最大允许范围, 国家标准中规定各个准确度等级的仪表, 在规定的使用条件下测量时, 其基本误差不应超过表 1-1-6 中的规定值。

表 1-1-6 仪表的准确度等级及其基本误差

准确度等级	0.1	0.2	0.5	1.0	1.5	2.5	5.0
基本误差 (%)	±0.1	±0.2	±0.5	±1.0	±1.5	±2.5	±5.0

我国生产的电工仪表的准确度等级根据国家标准的规定共分为七个等级。即: 0.1, 0.2, 0.5, 1.0, 1.5, 2.5, 5.0。

(五) 电测量指示仪表的正确使用

1. 合理选择仪表

(1) 根据被测量的性质选择仪表的类型。根据被测量是直流电还是交流电选用直流仪表或交流仪表。

测量交流电时, 应区分是正弦波还是非正弦波。如果是正弦交流电流 (电压), 只需测量出其有效值即可换算为其他值, 采用任一种交流电流表 (电压表) 均可进行测量。如果是非正弦交流电流 (电压), 则应区别是测量有效值、平均值或最大值。其中有效值可用电磁系或电动系电流表 (电压表) 测量; 平均值用整流系仪表测量; 最大值可用峰值表测量等。

在测量交流电时, 还应考虑被测量的频率。一般常用的交流仪表 (如电磁系、电动系