



工业和信息化高职高专“十二五”规划教材立项项目

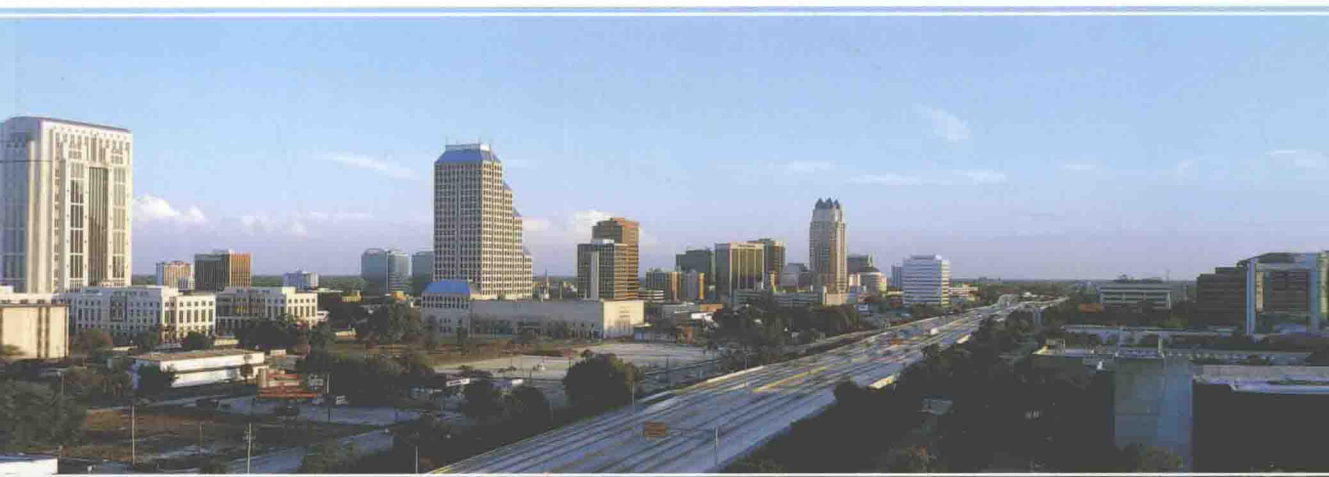
高等职业教育电子技术技能培养规划教材

Gaodeng Zhiye Jiaoyu Dianzi Jishu Jineng Peiyang Guihua Jiaocai

电工技术

(第2版)

黄军辉 黄晓红 主编 张文梅 赖友源 余群 副主编



Electrical Technology

(2nd Edition)

精简教学内容 降低理论难度

引入项目教学 激发学习兴趣

提供仿真实例 强化设计能力

 人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS



工业和信息化部高职高专“十二五”规划教材立项项目

高等职业教育电子技术技能培养规划教材

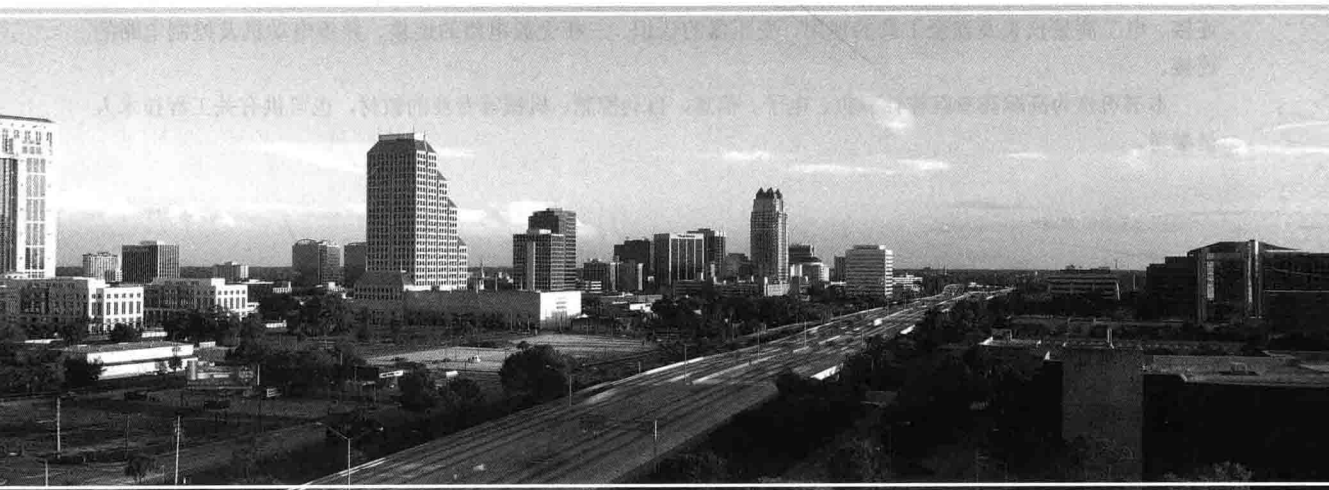
Gaodeng Zhiye

Guihua Jiaocai

电工技术

(第2版)

黄军辉 黄晓红 主编 张文梅 赖友源 余群 副主编



Electrical Technology
(2nd Edition)

人民邮电出版社

北京

图书在版编目 (C I P) 数据

电工技术 / 黄军辉, 黄晓红主编. -- 2版. -- 北京:
人民邮电出版社, 2011. 9

工业和信息化高职高专“十二五”规划教材立项项目
高等职业教育电子技术技能培养规划教材
ISBN 978-7-115-26024-6

I. ①电… II. ①黄… ②黄… III. ①电工技术—高等职业教育—教材 IV. ①TM

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第153960号

内 容 提 要

本书采取项目式的教学方法,系统地介绍电工技术的基本概念、基本理论、基本方法及其在实际中的应用。本书共分为7个项目,主要内容包括电路元件及万用表的识别、直流电路的识别、日光灯照明电路的连接、电工测量仪表及安全工具的使用、变压器的识别、三相交流电路的连接、异步电动机及控制电路的连接。

本书可作为高职高专院校计算机、电子、信息、自动控制、机械等专业的教材,也可供有关工程技术人员参考。

工业和信息化高职高专“十二五”规划教材立项项目

高等职业教育电子技术技能培养规划教材

电工技术 (第2版)

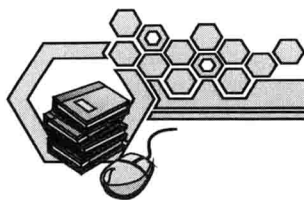
-
- ◆ 主 编 黄军辉 黄晓红
副 主 编 张文梅 赖友源 余 群
责任编辑 赵慧君
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街14号
邮编 100061 电子邮件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京艺辉印刷有限公司印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 12 2011年9月第2版
字数: 292千字 2011年9月北京第1次印刷

ISBN 978-7-115-26024-6

定价: 26.80元

读者服务热线: (010)67170985 印装质量热线: (010)67129223

反盗版热线: (010)67171154



本书是《电工技术》的修订本，与第1版相比，突出了以下特色。

1. 项目为导向，任务为驱动。本书采用工学结合，任务驱动的模式编写，通过项目和任务培养学生分析问题、解决问题能力和团队协作精神，围绕项目和任务将各个知识点渗透于教学中，增强课程内容与职业岗位能力要求的相关性。

2. 在任务选材上突出教学重难点，增加可操作性和趣味性。精心选择简单易懂的实例和项目降低教学难度，强调实用性和趣味性实践性教学设计，将近几届教学中实践成熟的项目拓展到教学任务中，循序渐进，横向拓展、纵向深入。

3. 引入 Multisim 仿真软件。全书设置了多个软件仿真实例，使学生在会使用仿真软件的基础上，能熟练进行电路原理验证，并进行电路设计及仿真实验。

本书的参考学时为 72 学时，其中实践环节为 24 学时，各章的参考学时参见下面的学时分配表。

章 节	课 程 内 容	学 时 分 配	
		讲 授	实 训
项目一	电路元件及万用表的认识	4	2
项目二	直流电路的认识	12	6
项目三	日光灯照明电路的连接	12	6
项目四	电工测量仪表及安全工具的使用	4	2
项目五	变压器的认识	4	2
项目六	三相交流电路的连接	4	2
项目七	异步电动机及控制电路的连接	8	4
课时总计		48	24

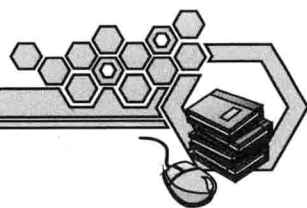
本书由广东农工商职业技术学院黄军辉、广东轻工职业技术学院黄晓红任主编，广东农工商职业技术学院张文梅、广东工程职业技术学院赖友源、广州大学余群任副主编。参加本书编写的还有广东农工商职业技术学院符气叶，广州市信息工程职业学校蔡玉惠、广州轻工高级技工学校慕泽飞、广州华侨学校梁健、天河区教育局范丽晖，全书由黄军辉、张文梅负责统稿，广东轻工职业技术学院王丽婷负责全书的校对工作。同时广东农工商职业技术学院与广州市风标电子科技有限公司等对本书的出版给予了大力支持，在此表示衷心的感谢。

由于作者水平有限，误漏之处在所难免，请广大读者批评指正。

编 者

2011 年 6 月

目 录



项目一 电路元件及万用表的认识 1

一、项目分析.....	1
二、相关知识.....	2
(一) 电路基本元器件简介	2
(二) 电工测量的相关知识	7
三、项目实施.....	12
(一) 实施要求	12
(二) 实施步骤	12
四、拓展知识.....	15
(一) 指针表和数字表的选用	15
(二) 万用表测量技巧(如不作说 明,则指指针表)	15
(三) 如何借助万用表检测晶闸管.....	16
小结	16
习题及思考题.....	17

项目二 直流电路的认识..... 18

一、项目分析.....	18
二、相关知识.....	19
(一) 电路和电路模型.....	19
(二) 电路中的主要物理量	19
(三) 基尔霍夫定律.....	22
(四) 基尔霍夫定律的应用	25
(五) 简单电阻电路的分析方法.....	30
三、项目实施.....	36
任务一 验证基尔霍夫电流定律.....	36
(一) 实施要求	36
(二) 实施步骤	36
任务二 验证基尔霍夫电压定律.....	38
(一) 实施要求	38
(二) 实施步骤	39
任务三 验证戴维南定理的验证.....	40

(一) 实施要求	40
(二) 实施步骤	40
任务四 验证诺顿定理.....	42
(一) 实施要求	42
(二) 实施步骤	43
任务五 验证叠加定律.....	45
(一) 实施要求	45
(二) 实施步骤	45
四、拓展知识.....	47
(一) 戴维南定理的知识拓展	47
(二) 叠加定理的妙用	48
(三) 电阻串并联的实际应用	48
小结.....	49
习题及思考题	51

项目三 日光灯照明电路的连接..... 54

一、项目分析.....	54
二、相关知识	55
(一) 正弦交流电的基本概念	55
(二) 正弦交流电的三要素	55
(三) 交流电的有效值	58
(四) 正弦量的相量表示法	58
(五) 电阻元件的交流电路.....	60
(六) 电感元件的交流电路.....	62
(七) 电容元件的交流电路.....	64
(八) RLC 串联电路的相量分析.....	67
(九) 串联谐振电路	72
(十) 相量形式的基尔霍夫定律	73
三、项目实施	75
任务一 单相交流电路实验.....	75
(一) 实施要求	75
(二) 实施内容	75
(三) 实施步骤	76



任务二 日光灯电路实验	77	项目五 变压器的认识	105
(一) 实施要求	77	一、项目分析	105
(二) 实施内容	77	二、相关知识	105
(三) 实施步骤	80	(一) 变压器的分类和基本功能	105
四、拓展知识	81	(二) 变压器的基本结构和工作原理	106
小结	83	(三) 变压器的铭牌、额定值及运行特性	110
习题及思考题	85	(四) 变压器绕组的极性(同名端)的概念及判定方法	112
项目四 电工测量仪表及安全工具的使用	88	(五) 特殊变压器	113
一、项目分析	88	三、项目实施	115
二、相关知识	89	任务一 用万用表判别变压器的同名端	115
(一) 电工绝缘保护器具	89	(一) 实施要求	115
(二) 登高作业用具	90	(二) 实施步骤	115
(三) 验电器	91	任务二 变压器直流电阻、绝缘电阻的测量	115
(四) 兆欧表	93	(一) 实施要求	115
(五) 钳形电流表	95	(二) 实施步骤	116
(六) 电度表	96	任务三 变压器的故障检修训练	117
(七) 接地电阻测量仪	97	(一) 实施要求	117
三、项目实施	98	(二) 实施步骤	117
任务一 电工工具的正确使用	98	四、拓展知识	117
(一) 实施要求	98	(一) 三相变压器	117
(二) 实施步骤	98	(二) 电力变压器的小修项目	118
任务二 使用兆欧表测量绝缘电阻	99	小结	119
(一) 实施要求	99	习题及思考题	119
(二) 实施步骤	99	项目六 三相交流电路的连接	121
任务三 电度表的安装使用	101	一、项目分析	121
(一) 实施要求	101	二、相关知识	122
(二) 实施步骤	101	(一) 认识三相交流发电机	122
任务四 接地电阻的测量	101	(二) 分析计算三相动力电路	123
(一) 实施要求	101	(三) 接地及防雷	130
(二) 实施步骤	101	三、项目实施	135
四、拓展知识	102	任务一 三相照明电路的测量	135
(一) 单相交流电路功率的测量	102		
(二) 三相交流电路的测量	103		
小结	104		
习题及思考题	104		



(一) 实施要求	135
(二) 实施步骤	135
四、拓展知识	137
(一) 电工安全基本知识	137
(二) 触电急救方法	139
小结	140
习题及思考题	141

项目七 异步电动机及控制

电路的连接	144
一、项目分析	144
二、相关知识	145
(一) 三相异步电动机的工作 原理	145
(二) 三相异步电动机的结构	149
(三) 常用的控制电器	156
三、项目实施	163
任务一 电气控制电路的基本 连接	163

(一) 任务实施要求	163
(二) 电气控制电路的基本连接 实施步骤	163
任务二 三相异步电动机直接 起动控制电路的连接	167
(一) 任务实施要求	167
(二) 控制电路连接的实施 步骤	167

四、拓展知识	171
(一) 三相异步电动机的分类	171
(二) 三相异步电动机的故障 分析和处理	172
(三) 怎样测量三相异步电动机 六股引出线相同端头	175
小结	175
习题及思考题	176

附录 Multisim 基本操作	178
------------------------	-----

参考文献	186
------------	-----

项目一

电路元件及万用表的认识

一、项目分析

项目实例内容

本项目主要讲解电阻元件、电容元件、电感元件及其伏安特性，以及万用表的特点、分类和工作原理。

项目分析

生活中经常用到各种电器，如计算机、手机、随身听、剃须刀等，不管这些电器的电路是简单还是复杂，都是由各种各样的电子元器件组成的，这些器件的识别和选用，以及如何运用各种测量仪表对电路进行特性测量，都是学习电工及电子技术必须掌握的内容。

知识点

1. 常见电阻、电位器元件的基本特性、结构、符号、分类；
2. 常见电容元件的基本特性、结构与符号、分类；
3. 常见电感元件的基本特性、结构与符号、分类；
4. 万用表的特点、分类和工作原理。

能力点

1. 会利用万用表测量电压、电流、电阻、电容等特性参数；
2. 掌握电阻（电容、电感）的使用及选用原则，能熟练使用常用测量仪表万用表；
3. 能正确使用电阻及电位器；
4. 能熟练地正确使用常用测量仪表万用表。



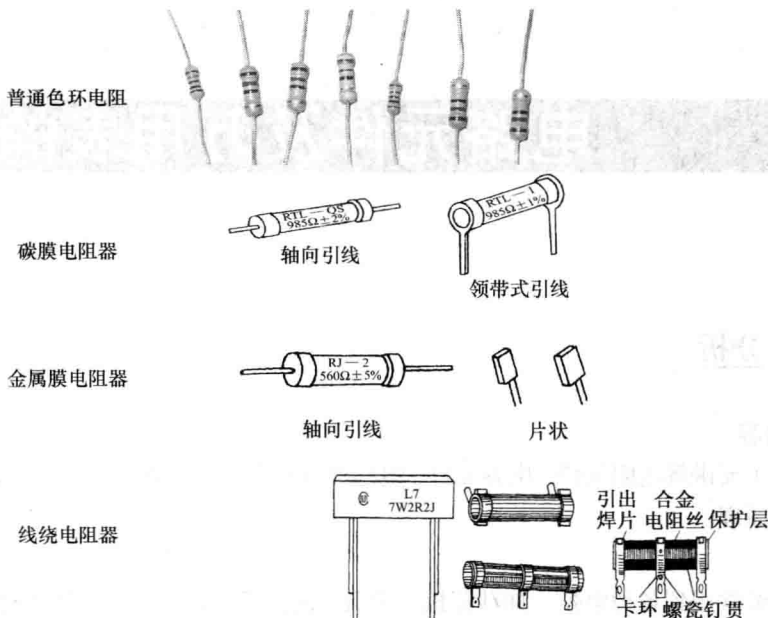
二、相关知识

(一) 电路基本元器件简介

1. 电阻元件

电阻元件是电子电路中最常见、使用最广泛的元器件。本书电路使用的电阻为普通的金属膜电阻, 均为 $1/4\text{W}$ 。

(1) 电阻元件的种类与外形



(2) 电阻元件的标称阻值

电阻元件在制造时并不是按照任意的阻值进行生产制造的, 而是生产出一定的阻值系列, 称为标称阻值。常见的阻值系列如表 1-1 所示。

表 1-1 常见阻值系列表

阻值系列	允许误差	误差等级	电阻标称值
E-24	$\pm 5\%$	I	1.0, 1.1, 1.2, 1.3, 1.5, 1.6, 1.8, 2.0, 2.2, 2.4, 2.7, 3.0, 3.3, 3.6, 3.9, 4.3, 4.7, 5.1, 5.6, 6.2, 6.8, 7.5, 8.2, 9.1
E-12	$\pm 10\%$	II	1.0, 1.2, 1.5, 1.8, 2.2, 2.7, 3.3, 3.9, 4.7, 5.6, 6.8, 8.2

(3) 电阻元件的额定功率

常见的额定功率有 $\frac{1}{8}\text{W}$ 、 $\frac{1}{4}\text{W}$ 、 $\frac{1}{2}\text{W}$ 、 1W 、 2W 、 3W 、 5W 、 10W 。

电阻的功率选择应考虑该电阻在电路中通过的电流的大小, 若电路电流较大而选用了较小功率的电阻, 电阻可能被烧毁。一般的电子电路常用 $\frac{1}{4}\text{W}$ 的电阻。

某些纯电阻用电器有自己的额定功率, 如热水器, 电热器等, 功率为 1500W 等。当然, 不能将之视为一般意义上的电阻器。



(4) 电阻元件的误差等级

$\leq 2\%$ 为精密电阻器； $\geq 5\%$ 为普通电阻器。

(5) 电阻元件色环标注法

电阻元件的阻值标注一般有直标法、文字符号法和色标法。普通电阻最常用的标注方法为色标法。

色环电阻分为四色环和五色环。

四色环就是用 4 条色环表示阻值的大小。每条色环代表不同的数字，如表 1-2 所示。

表 1-2

阻值环颜色对应的数码

颜色	棕	红	橙	黄	绿	蓝	紫	灰	白	黑
数码	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0

各色环表示意义如下：

第一条色环：阻值的第一位数字；

第二条色环：阻值的第二位数字；

第三条色环：10 的幂数；

第四条色环：误差表示（常用金、银色表示，金色为 5% 误差、银色为 10% 误差）。

四色环电阻实物：



例如：

① 电阻色环：棕—绿—红—金

$$1 \quad 5 \quad 10^2 \quad \pm 5\%$$

即阻值为： $15 \times 10^2 \pm 5\% = 1500\Omega = 1.5k\Omega$

② 电阻色环：蓝—灰—棕—银

$$6 \quad 8 \quad 10^{-1} \pm 10\%$$

即阻值为： $68 \times 10^{-1} \pm 10\% = 6.8\Omega$

五色环电阻，用 5 条色环表示阻值的大小，每条色环代表的意义具体如下。

第一条色环：阻值的第一位数字。

第二条色环：阻值的第二位数字。

第三条色环：阻值的第三位数字。

第四条色环：阻值乘数的 10 的幂数。

第五条色环：误差（常见是棕色，误差为 1%）。

五色环电阻实物：



有些五色环电阻两头金属帽上都有色环，其中远离相对集中的四条色环的那条色环表示误差，是第五条色环，与之对应的另一头金属帽上的是第一条色环，读数时从此环读起，之后的第二条、第三条色环是次高位、次次高位，第四条环表示 10 的多少次方。

例如：

① 电阻色环顺序为：红—黑—黑—黑—棕

$$2 \quad 0 \quad 0 \quad 10^0 \quad \pm 1\%$$

则表示该电阻阻值为： $200 \times 10^0 \Omega \pm 1\% = 200\Omega$ 。

② 电阻色环顺序为：棕—黑—黑—红—棕

$$1 \quad 0 \quad 0 \quad 10^2 \quad \pm 1\%$$



则表示该电阻阻值为 $100 \times 10^2 \Omega \pm 1\% = 10000 \Omega = 10 \text{k}\Omega$ 。

③ 电阻色环顺序为：黄—紫—红—橙—棕

$$4 \quad 7 \quad 2 \quad 10^3 \quad \pm 1\%$$

则表示该电阻阻值为 $472 \times 10^3 \Omega \pm 1\% = 472000 \Omega = 472 \text{k}\Omega$ 。

一般来说，四色环电阻其金、银色环在最后，误差为 5%~10%；五色环电阻其棕色环在最后，误差为 1%，精度相对提高，被称之为精密电阻。

(6) 普通电阻器的检测方法

对电阻器的检测主要是看其实际阻值与标称阻值是否相符。

具体的检测方法是用万用表的欧姆挡，欧姆挡的量程应视电阻器阻值的大小而定。一般情况下应使表针落到刻度盘的中间段，以提高测量精度。这是因为万用表的欧姆挡刻度线是非线性的，而中间段分度较细而更准确。

2. 电位器

电位器是一种可改变电阻值大小的调节器件。因其调节时常改变电路的电压大小，故称电位器。电位器一般有 3 个引脚，两边的两个引脚之间的阻值固定（该值决定了电位器的标称值），中间引脚与两边两引脚的阻值受调节旋钮的作用而发生变化，从而达到调节的目的。

(1) 电位器的种类与外形

电位器的种类与外形如图 1-1 所示。

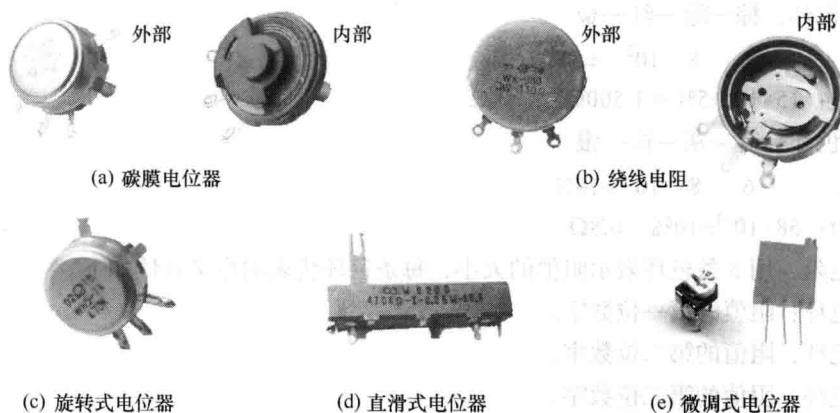


图 1-1 电位器的种类与外形

(2) 电位器的标注

电位器的标注常用直接标注法和数字标注法。一般的电位器通常为直接标注，如图 1-1 中旋转式电位器为 470kΩ。

而微调电位器则常常采用三位数字的标注法，如 102，503，105，……

注意，这三位数字不能直接读，如 102 并不是表示 102Ω，而是前面两位数字为有效数值，第三位数字为 10 的幂，即 102 应读为 $10 \times 10^2 = 1000 \Omega = 1 \text{k}\Omega$ 。其实就是前面两个数字照读，第三个数字是多少，就往后面添加多少个 0，单位为欧姆。

如 503 应解读为 $50-0-0-0 = 50000 \Omega = 50 \text{k}\Omega$

3 个 0

105 则表示 1000000Ω，即 1MΩ。



(3) 电位器的检测

电位器的检测主要是进行标称阻值的检测, 以及进行滑动触点与电阻体接触是否良好的检测。滑动触点与电阻体接触是否良好的检测方法如下。

用万用表的欧姆挡(根据标称阻值的大小选好量程), 两表笔分别接电位器的一个固定引线与滑动触点引线脚, 然后慢慢地旋转转轴, 这时表针应平稳地向一个方向移动, 阻值没有跌落和跳跃现象, 表明滑动触点与电阻体接触良好。检测时应注意表笔与引线脚不应有断开现象, 否则将影响测量结果的准确性。

3. 电容器

电容器是由两个导体中间隔以介质(绝缘物质)组成的, 导体称为电容器的极板。电容器加上电源后, 极板上分别聚集起等量异号的电荷, 带正电荷的极板称为正极板, 带负电荷的极板称为负极板。此时, 在介质中建立了电场, 并储存了电场能量。当电源断开后, 电荷在一段时间内仍聚集在极板上, 所以, 电容器是一种能够储存电场能量的元件。

常见电容器的类型如图 1-2 所示。其中, 电解电容有“+”、“-”极性, 在实物上和图形符号上都有标注。

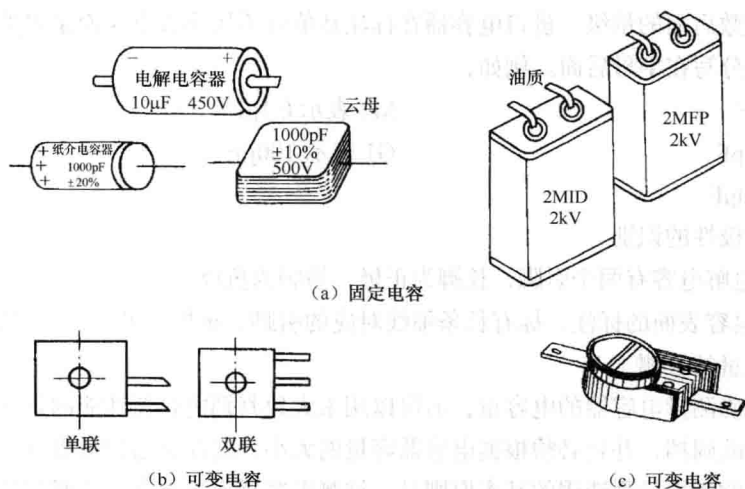


图 1-2 常见电容器

(1) 电容的图形符号

无极性电容: $\begin{array}{c} \text{---} \\ | \\ \text{---} \end{array} \text{C2} \text{ } 0.1\mu\text{F}$ 极性电容: $\begin{array}{c} \text{+} \\ | \\ \text{---} \end{array} \text{C1} \text{ } 47\mu\text{F}$

(2) 电容的种类与外形

电容的种类与外形如图 1-3 所示。



图 1-3 电容的种类与外形

(3) 电容元件的额定工作电压

电容的额定工作电压表示电容接入电路后, 能长期、连续可靠地工作而不被击穿所能承受的



最高工作电压。使用时绝对不允许超过这个耐压值,否则电容器就要损坏或被击穿。

额定电压有 6.3V、10V、16V、25V、32V、50V、63V、100V、160V、250V、400V、450V、500V、630V、1000V、1200V、1500V、1600V、1800V、2000V 等。

(4) 电容元件的标注

① 直标法。直标法是将电容器的主要参数(标称电容量、额定电压及允许偏差)直接标注在电容器上,一般用于电解电容器或体积较大的无极性电容器。

如某电解电容表面标示为:220 μ F/100V,则表示该电容的电容量为 220 μ F,耐压值为 100V。

② 数字标注法。数字标注法一般是用 3 位数字表示电容器的容量。其中前两位数字为有效值数字,第三位数字为 10 的幂级数(即表示有效值后有多少个 0),单位为 pF。数字标注法一般用在瓷片电容的标注上。例如,

102 表示 10×10^2 pF,即 1000pF;

104 表示 10×10^4 pF = 100000pF,即 0.1 μ F;

105 表示 10×10^5 pF,即 1 μ F。

③ 字母与数字混合标注法。此标注方法是用 2~4 位数字表示有效值,用 p、n、M、 μ 、G、m 等字母表示有效数后面的量级。进口电容器在标注数值时不用小数点,而是将整数部分写在字母之前,将小数部分写在字母后面。例如,

4p7 表示 4.7pF

M1 表示 0.1 μ F

8n2 表示 8200pF

G1 表示 100 μ F

3m3 表示 3300 μ F

(5) 电解电容极性的识别

① 新出厂的电解电容有两个引脚,长脚为正极,短脚为负极。

② 观察电解电容表面的标注,标有长条细线对应的引脚为负极,另外一个引脚为正极。

(6) 电容器质量的检测

万用表不能精确测量电容器的电容量,但可以用来大致判别电容器性能的好坏。电容器的检测应使用万用表的欧姆挡,并且必须根据电容器容量的大小,选择合适的量程进行测量,才能正确给以判断。对于欧姆挡量程选用的基本原则是:被测电容器容量越大,欧姆挡量程应越小。一般如测量 470 μ F 以上容量的电容器时,可选用 R $\times$ 10 挡或 R $\times$ 1 挡;47~470 μ F 电容器时可选用 R $\times$ 100 挡;如要测 4.7~47 μ F 的电容器时可选用 R $\times$ 1k 挡;如测 0.01~4.7 μ F 的电容器时,可选用 R $\times$ 10k 挡。对于 0.01 μ F 以下的小容量电容器,用万用表不能准确进行检测。

具体检测方法介绍如下。

将万用表黑表笔接电容正极(若为无极性电容则无需考虑),红表笔接电容负极。在表笔接触电容引脚时,如果万用表指针很快向顺时针方向(R 为“0”的方向)偏转一个角度,然后逐渐退回到原来的“ ∞ ”位置,说明电容器的漏电阻很小,表明电容器性能良好,能够正常使用。若万用表不能回到“ ∞ ”位置,说明电容器存在漏电。表针距离“ ∞ ”位置越远,说明电容器漏电越严重。

若表针停留在“0”值附近,说明电容器已经击穿短路了。

检测时,发现表针不动,则说明电容器断路。

4. 电感

电感器一般由骨架、绕组、铁芯、屏蔽罩等组成。常用电感器如图 1-4 所示,电感的图形符



号如图 1-5 所示。

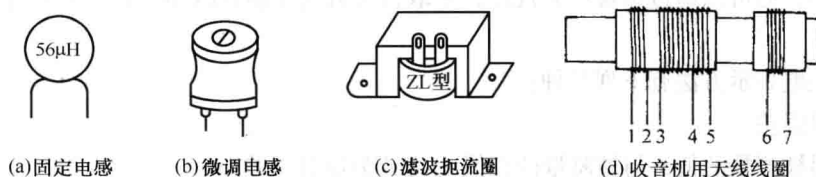


图 1-4 电感器

电感在电路中常用“L”加数字表示，如 L6 表示编号为 6 的电感。电感线圈是将绝缘的导线在绝缘的骨架上绕一定的圈数制成。直流可通过线圈，直流电阻就是导线本身的电阻，压降很小；当交流信号通过线圈时，线圈两端将会产生自感电动势，自感电动势的方向与外加电压的方向相反，阻碍交流电流的通过，所以电感的特性是通直流阻交流，频率越高，线圈阻抗越大。电感在电路中可与电容组成振荡电路。电感一般有直标法和色标法，色标法与电阻类似。如：棕、黑、棕、金表示 $1\mu\text{H}$ （误差 5%）的电感。电感的基本单位为亨（H）。换算单位有： $1\text{H} = 10^3\text{mH} = 10^6\mu\text{H}$ 。

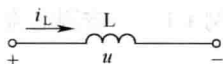


图 1-5 电感元件的图形符号

（1）定义

凡能产生电感作用的元件统称为电感器，简称电感。通常电感都是由线圈构成，故也称电感线圈。它是一种储能元件，具有通直隔交的特性，用 L 表示，单位是亨利，简称为亨，用 H 表示。

（2）基本性能参数

电感量及其精度；

品质因数：线圈中储存能量与消耗能量的比值称为品质因数；

分布电容：线圈圈匝与圈匝之间，线圈与底座之间均存在分布电容；

稳定性：电感量随温度，湿度等变化的程度。

（3）电感线圈的结构

通常，线圈由骨架（支撑导线）、绕组、磁芯（增大电感量，缩小体积）、屏蔽罩等组成。

（二）电工测量的相关知识

1. 电气标准器

测量就是用专门的仪器或设备通过实验和计算求得被测量的值。测量是一个相对的过程，必须以电气标准器为基准进行测量。通常把充当测量仪表测量标准的设备称为电气标准器。实用的标准器主要有标准电阻器、标准电池、标准电感、标准电容等。

需要说明的是，实际的测量仪表内部并不含电气标准器，只是用电气标准器对其进行校准即可。例如，在使用模拟万用表换挡测量电阻时，总是需要将两表笔短接，然后将指示调零，这是因为两表笔短接，其阻值为零，以它为基准可进行正确测量。又如，用数字万用表测量范围为 $0\sim 10\text{V}$ 的电压，其内部信号范围假定为 $0\sim 5\text{V}$ ，可采用如下方法校准：将标准电池（1V）作为输入，调整内部电路使内部输入信号为 0.5V 即可。

2. 测量误差

通过建立实际电路的电路模型、求解电路得到的结果为理论值，用电工测量仪表去测量得到的结果为测量值。一般情况下，测量值与理论值总是有一定的出入，称为误差。在科学实验和工



程实践中,任何测量结果都会有误差,而误差的大小又直接影响到测量的精确程度。人们不可能完全消除误差,但可以通过掌握误差规律,采取各种方式控制和减小误差,从而得到更精确的测量结果。

常用的误差表示方法有下列几种:

(1) 绝对误差

测量所得被测量的值 x 与被测量的真值 x_0 之差为绝对误差 Δx 。

$$\Delta x = x - x_0$$

可见,绝对误差 Δx 是有纲量的代数值,其纲量与被测量的纲量相同,其大小和正负分别表示测量值偏离真值的程度和方向。

例 1.1 一被测电流的真实值为 2A,用电流表测得的值为 2.1A,则测量的绝对误差为

$$\Delta x = I_x - I_0 = 2.1 - 2 = 0.1\text{A}$$

绝对误差和被测量值具有相同的单位,绝对误差为正值表示是正误差,即测量值比真值大 0.1A。

(2) 相对误差

相对误差是绝对误差 Δx 与被测量真值 x_0 之比的百分数,即

$$\gamma_0 = \frac{\Delta x}{x_0} \times 100\%$$

由于被测量值的真值无法得到,在误差越小,要求不太严格的场合,可用实际测量值 x 来代替,即

$$\gamma_0 = \frac{\Delta x}{x} \times 100\%$$

相对误差是无量纲,常用于描述测量的准确度。相对误差越小,测量的准确度就越高。

(3) 引用误差

引用误差是绝对误差 Δx 与测量仪器仪表的满刻度值 x_m 之比的百分数,即

$$\gamma_m = \frac{\Delta x}{x_m} \times 100\%$$

在描述测量仪表的准确度时,往往关注的是仪表在其整个测量范围内的测量误差,而不是仅仅针对某一个测量值的误差。因此,采用引用误差或整个量程的最大引用误差来描述测量仪表的准确度,比采用相对误差更方便、更全面。电工仪表就是按照最大引用误差来划分其准确等级的。

目前,我国直读式电工测量仪表的准确度分为:0.1, 0.2, 0.5, 1.0, 1.5, 2.5, 5.0 七级。如果仪表为 S 级,则说明该仪表的引用误差不超过 S%,并由此可知,绝对误差的大小 $|\Delta x| \leq x_m S\%$,而相对误差的大小 $|\gamma_0| \leq \frac{x_m}{x} S\%$ 。当被测量值较大时(x 接近满刻度 x_m),相对误差的数值较小,测量比较准确。当测量值较小时,相对误差就有可能取得较大值,测量的准确度就较差。因此,为了取得较准确的测量结果,除了选用准确度等级较高的仪表外,还要注意选择合适的仪表量程。只有当被测量值比较接近满刻度值($x \geq \frac{2}{3} x_m$)时,才能取得较准确的测量结果。

例 1.2 某待测量电流为 80mA,现有 0.5 级量程为 0~300mA 和 1.0 级量程为 0~100mA 的两个电流表,问哪一个电流表测量更准确?



解：用 0.5 级量程为 0~300mA 的电流表测量 80mA 电流时，可能出现的最大绝对误差为

$$\Delta x_1 = \pm x_m S\% = \pm 300 \times 0.5\% = \pm 1.5 \text{ (mA)}$$

最大可能出现的相对误差为

$$\gamma_1 = \pm \frac{x_m}{x} S\% = \pm \frac{300}{80} \times 0.5\% = \pm 1.875\%$$

而选用 1.0 级量程为 0~100mA 的电流表测量 80mA 电流时，可能出现的最大绝对误差为

$$\Delta x_2 = \pm x_m S\% = \pm 100 \times 1.0\% = \pm 1 \text{ (mA)}$$

最大可能出现的相对误差为

$$\gamma_1 = \pm \frac{x_m}{x} S\% = \pm \frac{100}{80} \times 1.0\% = \pm 1.25\%$$

上述例题说明，选择合适的仪表量程，对保证较高的测量准确是很重要的。

根据误差的性质及其产生的原因，测量误差可以分为系统误差、随机误差、粗大误差 3 类。

(1) 系统误差

在相同的条件下，多次测量同一量时，误差的绝对值和符号保持恒定，或测试条件改变时，按一定规律随条件变化的误差，称为系统误差。

系统误差产生的原因有：仪表工作原理的不完善；仪表本身的材料、零部件、工艺、加工精度等方面有缺陷；测试时，仪表的安装或摆放的方法不正确及仪表用法不正确；环境因素的影响；测量人员的不良习惯等。

为了减小系统误差，我们可以通过以下 3 个方面来考虑。

① 仔细分析研究测量方法所依据的理论是否严密，是否由于采用了简化或近似公式而引入较大的误差，是否采用了不合理的测量方法，对这些不合理的问题要及时当进行改正，以期减小系统误差。

② 合理地选用准确度较高的测量仪表，定期对仪表进行校验以保证其准确度，并确定它们的修正值。另外，根据仪表的使用技术条件安放仪表，注意防止测量仪表的互相干扰以及环境变化的影响。做好仪表的调校工作。

③ 提高测量人员的工作能力，保证读数和记录的熟练和准确。

(2) 随机误差

在相同的条件下，多次测量同一个量时，每一次测量误差的大小和符号都是随机的，不可预知的，这一类误差称为随机误差。

随机误差是由许多复杂的因素微小变化的总和引起的。例如，电磁场的微变，零件的摩擦、间隙、热起伏、空气扰动，气压及湿度的变化，测量人员感觉器官的生理变化等都可能是随机误差产生的原因。就一次测量而言，随机误差是没有规律的，不可预测，无法通过修正测量值等方法来消除。

(3) 粗大误差

在测量时，有可能会出出现与实际明显不符的测量值。使测量值明显偏离被测量值真值的误差称为粗大误差，含有粗大误差的测量值被称为坏值。

粗大误差产生的原因有测错、读错、记错、测量仪表或系统故障、实验条件不具备等。可以通过发现坏值并将其剔除的方法来消除粗大误差。



3. 电工测量仪表的分类

实际电工测量仪表种类繁多,通常用的直读式电工测量仪表常按照以下几个方面进行分类。

(1) 按照被测量的种类分类 (见表 1-3)

表 1-3 电工测量仪表按被测量的种类分类

序 号	被测量的种类	仪 表 名 称	符 号
1	电流	电流表、毫安表	
2	电压	电压表、千伏表	
3	功率	功率表、千瓦表	
4	电能	电度表	
5	相位差	相位表	
6	频率	频率表	
7	电阻	欧姆表、兆欧表	

(2) 按照工作原理分类 (见表 1-4)

表 1-4 电工测量仪表按工作原理分类

仪 表	被测量的种类	电流的种类与频率	符号
磁电式	电流、电压、电阻	直流	
整流式	电流、电压	工频及较高频率的交流	
电磁式	电流、电压	直流及工频交流	
电动式	电流、电压、电功率、功率因素、电能量	直流及工频与较高频率的交流	

(3) 根据电工测量仪表测量电流的种类分类

电工测量仪表根据测量电流的种类分类可分为直流仪表 (用 - 或 DC 表示)、交流仪表 (用 ~ 或 AC 表示)、交直流仪表 (用 = 表示)。

(4) 根据电工测量仪表的准确度等级分类

电工仪表按测量的准确度级别不同分为: 0.1, 0.2, 0.5, 1.0, 1.5, 2.5, 5.0 七级。一般 0.1 级和 0.2 级仪表用来作标准仪器, 以校准其他工作仪表, 而实验中多用 0.5 级到 2.5 级仪表。

4. 直读式电工测量仪表的工作原理

直读式仪表是用标度盘和指针指示电量的仪表, 又称为模拟仪表。因仪表以电磁力为基础, 故也称为电磁机械式仪表。按照工作原理, 直读式仪表主要分为磁电式、电磁式、电动式等几种。它们的主要作用是将被测量电量变换成仪表活动部分的偏转角位移。为了将被测电量转换成角位