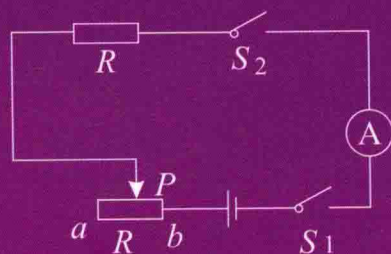
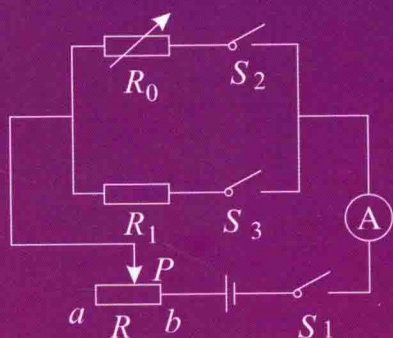


高职应用电子技术专业系列教材
国家骨干高职院校建设项目成果

电路分析与实践

主 编◎魏显文

副主编◎李 鹏



西北工业大学出版社

高职应用电子技术专业系列教材
国家骨干高职院校建设项目成果

电路分析与实践

主 编 魏显文

副主编 李 鹏

西北工业大学出版社

【内容简介】 电路分析与实践是高职高专电类专业一门十分重要的专业基础课程。本书是为满足高职高专应用型人才培养目标的教学需要,依据技能型人才培养的教学特点而编写的。本书内容包括:安全用电与触电急救、电源电路的分析与检测、直流稳态电路的分析与检测、单相正弦交流电路的分析与检测、三相正弦交流电路的分析与应用、变压器的工作原理与应用、动态电路的分析与应用等。

本书概念叙述清楚、深入浅出、通俗易懂、易于自学,力求做到概念准确、内容精炼、重点突出,注重理论联系实际,注重方式和方法的叙述。

本书可作为高等职业技术学院、高等工程专科学校、成人高等学校电气类、电子类、通信类等专业的教材,也可供有关科技人员和相关专业的专科学历学生、自学考试者参考。

图书在版编目(CIP)数据

电路分析与实践 / 魏显文主编. —西安:西北工业大学出版社, 2015. 1

ISBN 978-7-5612-4285-8

I. ①电… II. ①魏… 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(2015)第024441号

出版发行:西北工业大学出版社

通信地址:西安市友谊西路127号 邮编:710072

电话:(029) 88493844 88491757

网址:www.nwpup.com

印刷者:陕西向阳印务有限公司

开本:720 mm×1 020 mm 1/16

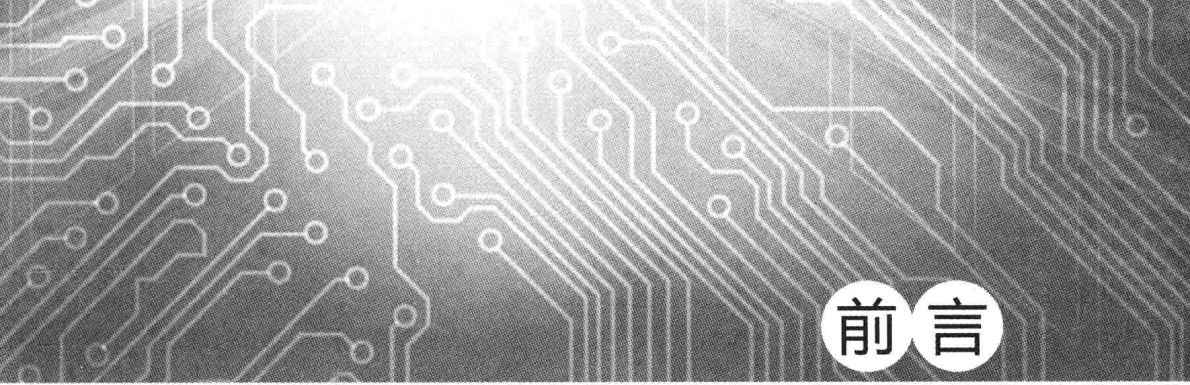
印张:11.5

字数:176千字

版次:2015年4月第1版

2015年4月第1次印刷

定价:25.00元



前言

F O R E W O R D

“电路分析与实践”是高职高专院校电子信息类专业的必修专业基础课程,与其相关内容也是机电一体化、电气自动化、光伏发电技术、汽车电器等专业的重要基础课程之一。通过本课程的学习与实践,学生能够掌握触电的防范与急救、直流电路的分析与检测、交流电路的分析与检测,了解动态电路的分析与应用,为后续课程的学习和日后从事相关领域工作打下良好的基础。

本书结合高职教学的特点,采用项目教学法,通过实施不同的项目而进行教学活动,其目的是在课堂教学中将理论与实践教学有机地结合起来,提高学生解决实际问题的综合能力。

本书参考学时为 84 学时。全书共分为 7 个项目。项目 1 介绍安全用电与触电急救;项目 2 介绍电源电路的分析与检测;项目 3 介绍直流稳态电路的分析与检测;项目 4 介绍单相正弦交流电路的分析与应用;项目 5 介绍三相正弦交流电路的分析与应用;项目 6 介绍变压器的工作原理与应用;项目 7 介绍动态电路的分析与应用。各个项目通过具体的电路模型和理论分析有机结合,充分体现了“做中学、学中做”的教学理念。为帮助读者学习、巩固和应用,每个项目都附有思考和练习。

本书由武威职业学院魏显文任主编,李鹏任副主编。魏显文编写了项目 1、项目 2、项目 3、项目 5;李鹏编写了项目 4、项目 6 和项目 7,全书由魏显文统稿和定稿。

由于水平和经验有限,书中错误和不妥之处,恳请读者批评指正。

编 者

目录

CONTENTS

◇ 项目1 安全用电与触电急救	(1)
1.1 万用表概述	(1)
1.2 安全用电常识	(5)
【思考与练习】	(7)
◇ 项目2 电源电路的分析与检测	(9)
2.1 电路和电路模型	(9)
2.2 电路变量	(15)
2.3 电源	(24)
2.4 基尔霍夫定律	(28)
【思考与练习】	(31)
◇ 项目3 直流稳态电路的分析与检测	(33)
3.1 电阻元件及欧姆定律	(33)
3.2 电源等效变换	(44)
3.3 支路电流法	(47)
3.4 节点电压法	(50)
3.5 网孔电流法	(53)
3.6 叠加定理	(56)
3.7 戴维南定理与诺顿定理	(59)
【思考与练习】	(64)

◇ 项目4 单相正弦交流电路的分析与应用	(67)
4.1 正弦交流电的基本概念	(67)
4.2 正弦交流电的相量表示法	(77)
4.3 单一元件伏安关系的相量表示	(84)
4.4 基尔霍夫基本定律相量表示和相量图	(90)
4.5 复阻抗与复导纳的概念及等效变换	(92)
4.6 正弦电路稳态分析	(98)
4.7 正弦稳态电路功率和功率因数的提高	(100)
4.8 谐振电路	(106)
【思考与练习】	(113)
◇ 项目5 三相正弦交流电路的分析与应用	(117)
5.1 三相正弦交流电路的概念	(117)
5.2 对称三相正弦交流电路分析	(123)
5.3 三相电路功率的计算	(131)
【思考与练习】	(134)
◇ 项目6 变压器的工作原理与应用	(135)
6.1 耦合电感的伏安关系	(135)
6.2 变压器及其工作原理	(143)
【思考与练习】	(151)
◇ 项目7 动态电路的分析与应用	(153)
7.1 换路定律与初始值的计算	(153)
7.2 零输入响应	(158)
7.3 零状态响应	(165)
7.4 一阶电路的全响应	(170)
【思考与练习】	(173)
参考文献	(177)

项目1 安全用电与触电急救

【项目要求】

掌握万用表的正确使用方法,通过对安全用电知识和安全用电原则的学习,增强安全防范意识,掌握安全用电知识及触电急救的方法,具备面对意外触电事故时的紧急处置能力。

1.1 万用表概述

万用表又叫多用表、三用表、复用表,是一种多功能、多量程的测量仪表。一般万用表可测量直流电流、直流电压、交流电压、电阻和音频电频等,有的还可以测交流电流、电容量、电感量及半导体的一些参数。它是一种多功能、易操作的便携式小型测量仪表。

1.1.1 常用万用表种类及其特点

常见的万用表有数字式万用表和指针式万用表,如图 1-1 所示。数字式万用表度数精确,显示直观,有过载保护,但价格较贵。指针式万用表小巧结实,经济耐用,灵敏度高,但度数精度稍差。

1.1.2 模拟万用表使用注意事项

(1) 万用表水平放置。

(2) 测量前,检查指针是否处于交直流档标尺的零位上,若有偏离,可用小螺丝刀调整表头



(a) 指针式



(b) 数字式

图 1-1 万用表

下方机械调零螺钉,使指针回到零位。

(3)测量前,红表笔应接到标有“+”的插孔内,黑表笔应接到标有“-”的插孔内,不能接反,否则在测量直流电量时会因正负极的反接而使指针反转,损坏表头部件。

(4)每次测量前,应根据测量任务选择合适的档位和量程,否则易损坏万用表。

(5)测量时,须用右手握住两支表笔,手指不要触及表笔的金属部分和被测元器件。

(6)测量中若需转换量程,必须在表笔离开电路后才能进行,否则选择开关转动产生的电弧易烧坏选择开关的触点,造成接触不良。

(7)万用表使用后,应将选择开关旋至空档或交流电压最高档;若长期不用,应将电池取出。

1.1.3 模拟万用表的使用方法

1. 测量直流电压

将选择开关旋到直流电压档相应的量程上。测量电压时,万用表并联在被测电路上,红笔接高电位“+”,黑笔接低电位“-”,若不知被测电压的极性和大致数值,需将选择开关旋至直流电压档最高量程上,并进行试探测量,然后再调整极性和合适的量程。测量时注意正确读数。如图1-2(a)所示。

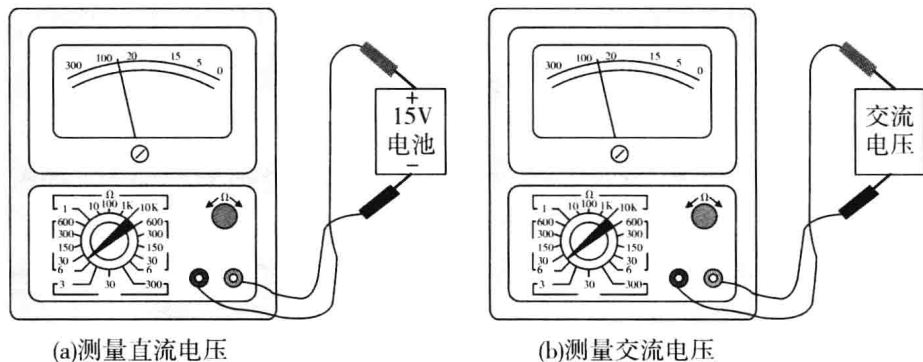


图1-2 模拟万用表的使用1

2. 测量交流电压

将选择开关旋至交流电压档相应的量程进行测量。若不知被测电压的大致数值,需将选择开关旋至交流电压档最高量程上预测,然后再旋至交流电压

档相应的量程上进行测量。如图 1-2(b) 所示。

3. 测量直流电流

万用表必须按照电路的极性串联在电路中,选择开关旋在合适的量程上。特别要注意的是,不能用电流档测量电压,以免烧坏电表。测量方法如图 1-3(a) 所示。注意正确读数。

4. 测量电阻

被测电阻先断电。将选择开关旋在“ Ω ”档的适当量程上,两表笔短接,转动“调零旋钮”使指针指向零欧姆处。每换一次量程,欧姆档的零点都需要重新调整一次。测量电阻时,不应双手触及电阻器的两端,否则会造成测量误差。如图 1-3(b) 所示。

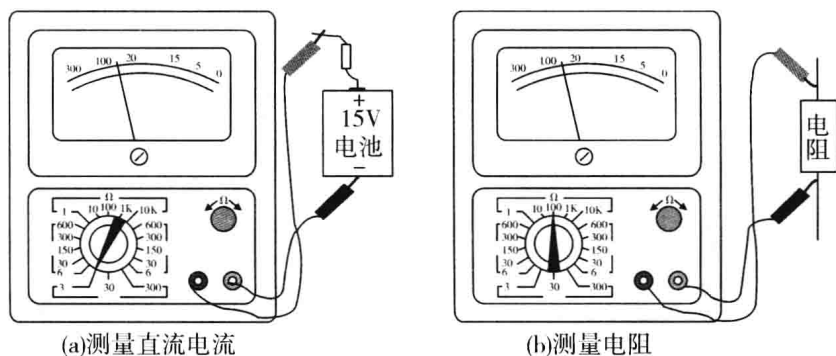


图 1-3 模拟万用表的使用 2

1.1.4 数字式万用表的使用方法

由于数字式万用表的测量准确度较高,使用方便、直观,且功能多,因此受到广泛的欢迎。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,这一切使得数字式万用表的使用也越来越普遍。

1. 注意事项

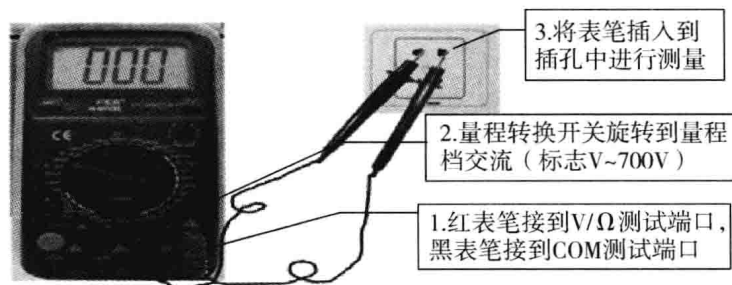
- (1) 量程开关应置于正确测量位置。
- (2) 检查表笔绝缘层应完好,无破损和断线。
- (3) 红、黑表笔应插在符合测量要求的插孔内,保证接触良好。
- (4) 严禁量程开关在测量电压或电流过程中改变档位,以防损坏仪表。
- (5) 必须用同类型规格的保险丝更换坏保险丝。
- (6) 为防止电击,测量公共端“COM”和大地之间电位差不得超过 1 000 V。

(7) 液晶显示“ OL ”符号时,应及时更换电池,以确保测量精度。

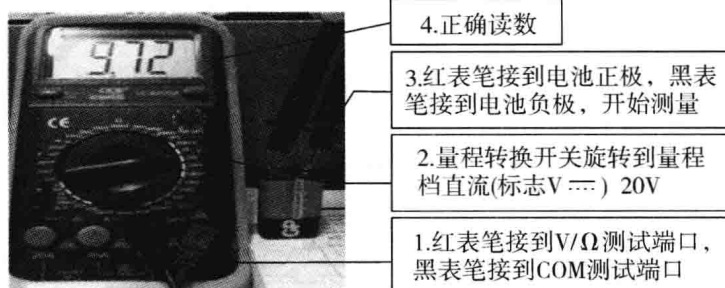
(8) 测量完毕应及时关断电源。长期不用时,应取出电池。

2. 使用方法

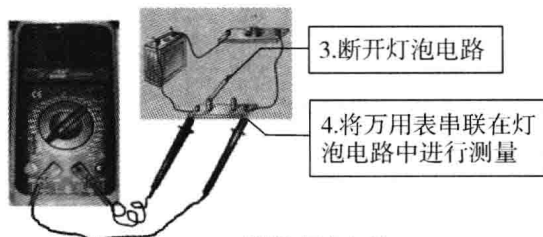
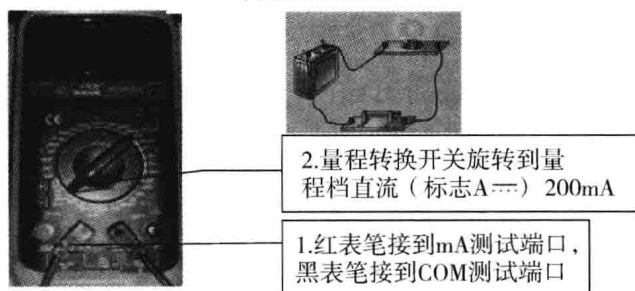
数字万用表的使用方法如图 1-4 所示。



(a) 测量交流电压



(b) 测量直流电压



(c) 测量直流电流

图 1-4 数字万用表的使用

1.2 安全用电常识

安全是在工作和生活用电时首要考虑的问题,在用电过程中,发生短路、电击和烧伤的可能性始终存在。电路在非正常的工作条件下,如闪电雷击、电流电压突变、潮湿、绝缘层老化等,容易出现电路短路而引发火灾。当电压加在人体的不同部位时,人体便提供了一条电流通路,产生的触电电流会对人体造成电击伤害;有些电气元件通常在高温下工作,意外接触便会造成皮肤灼伤。因此,在用电时必须树立安全意识。

1.2.1 电击与触电危险

1. 人体与电击

人体内的血管和血液构成了很好的导体(就像粗细不同的导线),当人体的不同部位加上电压时,就会有电流沿血管流过人体,通过人体的电流是产生电击的原因。电流路径与人体上加电的部位有关,流过人体的电流通路决定了哪些组织和器官将会受到影响,而电击的伤害程度与电压高低、电流大小、电流通过人体的路径、时间长短和人的体质状况等都有直接关系。

2. 触电危险

当通过人体的电流超过人体所能忍受的安全数值时,会导致肌肉痉挛,使肺部停止工作,心肌失去收缩跳动的功能,从而导致心室颤动,“血泵”不起作用,全身血液循环停止。血液循环停止之后,将引起细胞组织缺氧,在10~15 s内,人便会失去知觉;再过数分钟,人的神经细胞便开始麻痹,继而导致死亡。

人体电阻一般为10~50 k Ω ,与测量部位有关。如果在出汗或手脚湿水时,人体电阻可能降到400 Ω 左右,此时触电会很危险。

触电时间越长,危险性越大。当触电者无法摆脱电源时,触电电流会导致肌肉收缩力迅速下降,进而引起心力衰竭、窒息、昏迷、休克,甚至死亡。经验证明,对于一般低压触电者的抢救,如果耽误的时间超过15 min,人便很难救活。特别是患有心脏病、肺病或精神病的人触电,其危险性更大,也更难以救治。

3. 电流对人体的影响

电流导致人体产生的生理效应与电流的大小关系密切。当通过人体的电流非常小时,人体有轻微感觉或没有感觉;若通过人体的电流稍大,人就会有

“麻电”的感觉;当电流达到 8 ~ 10 mA 时,便可形成危险的触电事故;当电流超过 75 mA 时,在很短时间内就会使人窒息、心跳停止。表 1-1 详细列举了不同电流值对人体的影响。

当加在人体上的电压大到一定数值时,就会产生触电事故。因此,我国规定 36 V 及以下的电压为安全电压。超过 36 V,就有使人触电死亡的危险。

表 1-1 不同电击电流导致的人体生理效应

电流/mA	人体生理效应
0.4	轻微感觉
1.1	感觉阈值,有针刺感觉
1.8	无害电击,有“麻电”的感觉,未失去肌肉控制感
9.0	有害电击,感到不能忍受,但还没有失去肌肉控制感
16.0	有害电击,摆脱阈值
23.0	有害电击,肌肉收缩,呼吸困难
75.0	心脏纤维性颤动,致颤阈值,10 ~ 15 s 内会危及生命
235.0	心脏纤维性颤动,通常在 5 s 或更短时间内就能致人死亡
4 000.0	心脏停止跳动(没有心脏纤维性颤动)
5 000.0	内部组织严重烧伤

4. 电流通过人体的路径

触电时,电流在人体内将会选择电阻最小的路径,人体内血管和血液构成的电流通路电阻最小,因此电流在人体内会沿小动脉、静脉血管流过人体。如果是双手同时触电,电流路径是由一只手经心肺到另一只手的,这也是非常危险的。如果人站在地上单手触电,电流就通过心肺,再经双脚入地,这是最危险的情况。如果是单脚触电形成跨步电位差,电流通路由一只脚流入,再由另一只脚流出,危险性同样有,但短时间内对人体的伤害比前两种情况轻一些;如果电击电流大、时间长,会出现腿部肌肉痉挛,进而会摔倒转变为前两种情况。

5. 触电方式

单相触电是指人体站在地面或其他接地导体上,人体某一部位触及一相带电体的事故。

两相触电是指人体同时触及两相带电体的事故。

跨步电压触电是指在高电压输电线落地时,有强大的电流流入大地,在接

地点周围产生电压降。人在接地点周围,两脚之间出现的电压即跨步电压,这时有电流流过人体造成触电。

1.2.2 预防触电与急救

1. 预防触电

- (1) 绝缘、屏护、间距。
- (2) 接地、接零。
- (3) 安装漏电保护装置。
- (4) 采用安全电压。

2. 急救措施

- (1) 对神志清醒,触电程度较轻者应让其充分休息,尽量少移动。
- (2) 对昏迷不醒但仍有呼吸和脉搏者最好马上送往就近医院。
- (3) 对呼吸和心跳都已停止的严重触电者应立刻采用“口对口人工呼吸法”和“胸外心脏挤压法”进行抢救。

3. 急救方法

- (1) 口对口(或口对鼻)人工呼吸抢救法。

操作步骤:进行人工呼吸前,首先要迅速解开触电者的衣领、腰带等妨碍呼吸的衣物和取出口腔的异物。然后将触电者仰卧,使其头部充分后仰至鼻孔朝上,以利呼吸道畅通。再使触电者鼻孔(或口)紧闭,救护人深吸一口气后,紧贴触电者的口(或鼻)向内吹气,为时约 2 s,吹气完毕,立即离开触电者的口(或鼻),并松开触电者的鼻孔(或嘴唇),让他自行呼气,时间约 3 s。

- (2) 胸外心脏挤压法。

操作步骤:使触电者仰天平卧。颈部垫软物,头部稍后仰。每秒钟挤压一次,每分钟挤压 80 次为宜。

注意:挤压时,切忌用力过猛;触电者如果是儿童,可以用一只手挤压;对心跳和呼吸都停止的触电者的急救,要同时采用口对口呼吸法和胸外心脏挤压法。



思考与练习

- 1-1 简述数字式万用表的使用方法。
- 1-2 在发生触电的情况时,下列哪些措施是正确的?并分析原因。

- A 迅速用手拉触电人,使他离开带电体。
- B 用铁棒把人和电源分开。
- C 用干木棒将人和电源分开。
- D 迅速拉开电闸,切断电源。

1-3 触电有哪些急救方法?

项目2 电源电路的分析与检测

【项目要求】

在电路和电路模型认识的基础上,能对某一支路的相关参数进行分析,并能用电位的概念解析电路。从电压源和电流源两个角度阐述实际电源在不同电路中所表现出来的特性;掌握基尔霍夫电流定律(KCL)和基尔霍夫电压定律(KVL)在电路中的应用。

2.1 电路和电路模型

日常生活和工作中的各种电子产品,如计算机、电视机、手机、组合音响、仪器仪表等,都是由各种电子元器件按特定的设计和生产工艺流程制造出来,再由各种功能电路组合而成电子产品。因此,电路就是实现丰富多彩的电子产品的功能基础。

2.1.1 电路的基本概念

电路(circuit)是由各种电子元器件按一定方式连接起来,让电流流过的通路。基本的电子元器件有导线、电阻器、电容器、电感器、晶体管、集成电路等。它的主要功能是实现电能的传输、分配与转换和信号的传递与处理。

图2-1是一个简单的实际照明电路。它由三部分组成:一是作为电源的干电池,它的作用是提供电能;二是作为负载的灯泡,它将电能转换成光能和热能;三是作为中间环节的导线和开关,起连接、控制干

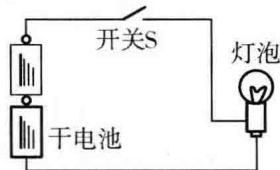


图2-1 干电池照明电路

电池和灯泡的作用。

2.1.2 电路基本元件

在电路中,除了像灯泡这样的负载外,还有电阻器、电容器、电感器、变压器、晶体管等电路元器件。简单的元器件在工作时所发生的物理现象也可能是很复杂的。例如,一个有电流通过的线绕电阻器,除了对电流呈现阻碍作用之外,还在导线周围产生磁场,因而兼有电感器的性质;同时还会在各匝线圈之间存在电场,因而又兼有电容器的性质。

1. 电阻器

电阻器简称为电阻。电荷在导体中定向移动形成电流,电荷在移动过程中相互之间以及与其他微粒发生碰撞,从而阻碍电荷的移动,表现出对电荷移动的阻碍作用,这种性质被称为“电阻”。通常人们讲某个元件是电阻,实际上有两层含义:其一是指该元件具有“电阻”的性质;其二则是指元件本身是一个电阻器。

不同材料、不同尺寸和不同温度的导体对电流的阻碍作用不相同。电阻对电流的阻碍作用是可以量化的,在国际单位制中,它的量化单位是欧姆,用符号 Ω 表示。

一段导体的电阻大小与导体本身的长度成正比,与截面积成反比,并与导体材料性质有关。材质均匀一致的导体,其电阻的数学表达式为

$$R = \rho \frac{L}{S} \quad (1-1)$$

式(1-1)也叫电阻定律。若电阻 R 的单位取 Ω ,导体长度 L 的单位为 m ,导体截面积 S 的单位为 m^2 ,那么电阻率 ρ 的单位为 $\Omega \cdot m$ 。

电阻是物体(或说材料)本身的一种性质,人们可以利用材料的这种性质制成各式各样的电阻器。例如日常生活中使用的电炉,其发热丝就是用导体绕制而成的电阻器,电炉直接利用电阻的电流热效应来工作。

在实际应用中,白炽灯、电烙铁等电热器,它们是以消耗电能而发热或发光为主要特征的电路器件,在电路模型中都可以用电阻元件来表示。电阻器的种类有很多,通常分为三大类:固定电阻、可变电阻、特种电阻。突出实际元件

对电流的阻碍作用,即在其内部进行着把电能转换成热能等不可逆过程的这一主要特征,忽略其一些次要元件的符号特征,这样就可把实际的电阻器抽象为一种理想的电路元件,即电阻元件,其电路图形符号如图 2-2 所示。

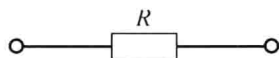


图 2-2 电阻符号

2. 电容器

电容是电容器的简称,电容器就是“容纳电荷的容器”,它是一种储存能量的元件,简称为储能元件。电容器品种繁多,但它们的基本结构和原理是相同的。不同的电容器储存电荷的能力不相同,在电路中的作用也不相同。电容使用的场合很多,比如整流电源被拔下插头后,上面的发光二极管还会继续亮一段时间,然后逐渐熄灭,就是因为里面的电容事先存储了电能,二极管保持发亮的过程就是电容器释放能量的过程。

用直流电源供电的随身听,耳机中可能会有嗡嗡声,这是因为使用了较小容量的滤波电容。这时如果在电源两端并接上一个较大容量的电解电容,一般可以改善效果。

电容器在电力系统的功率因数补偿方面有很大作用。通常电网上大多数负载往往呈现出电感性质,导致电网功率因数下降,使电网得不到充分利用,此时一般采用并联电容的办法来提高电网的功率因数。

电容通常缩写为 C 。同电阻一样,电容器的电容量是可以量化的,它的量化单位是“法拉”,用符号 F 表示。

电容器的电容量大小与电容器的结构和介电常数有关。在两块平行放置的金属板中间填充绝缘介质就构成一个简单的平板电容器,对于平板电容器的电容量计算有以下数学公式

$$C = \varepsilon \frac{S}{d} \quad (2-2)$$

在式(2-2)中,电容 C 与介电常数 ε 成正比,与面积 S 成正比,与两金属板间的距离 d 成反比。若电容 C 的单位取 F ,面积 S 的单位为 m^2 ,距离的单位为 m ,那么介电常数 ε 的单位为 F/m 。在电路模型中,电容器的符号如图 2-3 所示。 C 不但表示电容器,同时也表示电容器的电容量。

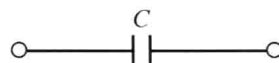


图 2-3 电容元件符号