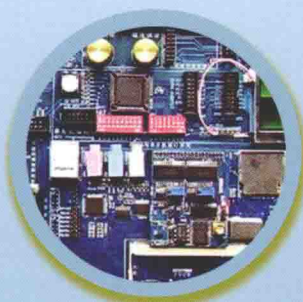
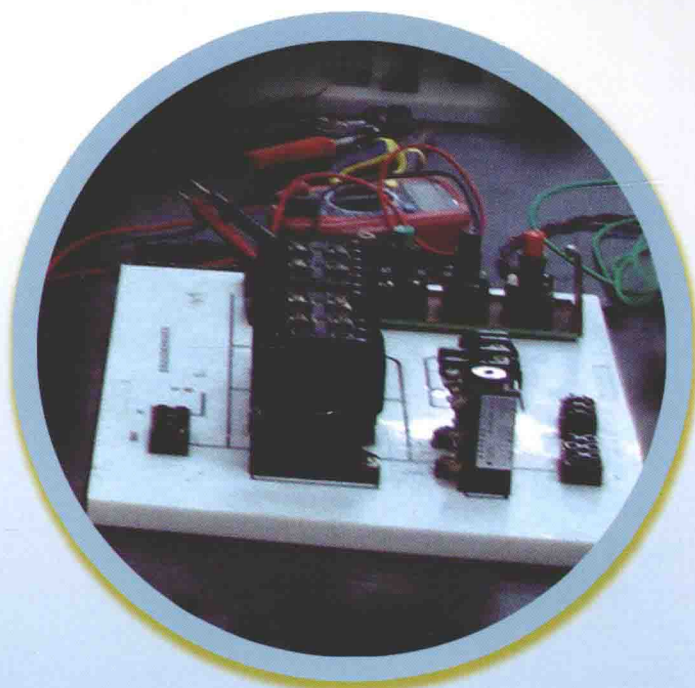


高等院校电工电子技术类课程“十二五”规划教材

电工基础

主 编 王 刚 彭卫东
副主编 侯聪玲 杨燕明



中南大学出版社
www.csupress.com.cn

高等院校电工电子技术类课程“十二五”规划教材

电工基础

主 编 王 刚 彭卫东
副主编 侯聪玲 杨燕明



中南大学出版社
www.csupress.com.cn

图书在版编目(CIP)数据

电工基础/王刚主编. —长沙:中南大学出版社,2015.9

ISBN 978-7-5487-1923-6

I. 电... II. 王... III. 电工学 IV. TM1

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第212180号

电工基础

王 刚 主编

☐责任编辑 韩 雪

☐责任印制 易红卫

☐出版发行 中南大学出版社

社址:长沙市麓山南路

邮编:410083

发行科电话:0731-88876770

传真:0731-88710482

☐印 装 长沙印通印刷有限公司

☐开 本 787×1092 1/16 ☐印张 11.75 ☐字数 290千字

☐版 次 2015年9月第1版 ☐印次 2015年9月第1次印刷

☐书 号 ISBN 978-7-5487-1923-6

☐定 价 30.00元

图书出现印装问题,请与经销商调换

前 言

根据教学需要,目前高职高专院校普遍提高了实践教学比例、压缩理论教学时间,为适应形势的变化,要求教材更为紧凑。在目前图书市场上,介绍电工基础课程的书籍中都包含篇幅较多的电机及控制技术、电力系统及低压电器控制电路等内容,这些内容在机电一体化等专业中都会开设专门课程学习,这造成了教材资源利用效果不佳。另外,很多电工基础类书籍在实验内容上安排欠佳,对学生技能训练提高效果有限。基于上述两个问题,本书在内容上进行了合理、科学的安排,取舍得当,对提高学生技能水平帮助很大。本书按照电子类专业对电工知识的基本要求,在“必需、够用”原则下,总结多年教学经验编写而成。突出实用性是编写本教材的指导思想。

本书共分9章,每章由若干个小节组成,每章后有习题,考核对于本章知识的掌握情况。第1章介绍电流、电压、电功率、欧姆定律、基尔霍夫定律等电路的基本概念和定律。第2章介绍网孔电流法、节点电压法、叠加定理、戴维南定理等电路分析的基本方法。第3章介绍电容、电感、 RC 与 RL 一阶电路的暂态分析等内容。第4章介绍正弦交流电、正弦交流电路中电阻、电感、电容元件特性,正弦量的相量表示, RLC 串并联的正弦交流电路分析,日光灯照明电路。第5章介绍串、并联谐振电路及应用等知识。第6章介绍磁路基本知识、变压器组成、工作原理。第7章介绍安全用电与防雷知识。第8章介绍信号与系统基本知识。第9章介绍了电源外特性测定等12个实验。

本书由王刚、彭卫东任主编,侯聪玲、杨燕明任副主编,黄丽英、刘艳萍参加编写。第1章和第2章由侯聪玲编写;第3章、第7章、第8章和第9章由王刚编写;第4章由杨燕明编写;第5章和第6章由彭卫东编写。王刚负责全书的统稿。

由于我们的教学经验和学术水平有限,书中难免有错误和不妥之处,恳请师生、读者批评和指正。

编 者

2015年5月

目 录

第1章 电路基本概念和基本定律	(1)
1.1 电路和电路模型	(1)
1.1.1 电路组成	(2)
1.1.2 理想电路元件	(2)
1.1.3 电路的工作状态	(2)
1.2 电阻元件	(3)
1.2.1 电阻元件特性	(3)
1.2.2 电阻元件的伏安曲线和功率	(4)
1.3 电路基本物理量	(5)
1.3.1 电流	(5)
1.3.2 电流的测量	(6)
1.3.3 电压	(6)
1.3.4 电位	(6)
1.3.5 电压的测量	(7)
1.3.6 电能	(7)
1.3.7 电功率	(8)
1.3.8 电压和电流的参考方向	(8)
1.4 电压源和电流源	(9)
1.4.1 理想电压源	(9)
1.4.2 实际电压源	(10)
1.4.3 理想电流源	(10)
1.4.4 实际电流源	(12)
1.5 电路基本定律	(12)
1.5.1 欧姆定律	(12)
1.5.2 关于电路结构的几个名词	(13)
1.5.3 基尔霍夫电流定律	(13)
1.5.4 基尔霍夫电压定律	(14)
本章小结	(15)
习题	(16)
第2章 电路基本分析方法	(19)
2.1 二端网络基本概念	(19)

2.2 线性电阻网络等效变换	(19)
2.2.1 电阻的串联和并联	(19)
2.2.2 电阻星形联结和三角形联结	(22)
2.3 电源等效变换	(25)
2.3.1 电源的串联和并联	(25)
2.3.2 电压源与电流源等效互换	(26)
2.4 叠加定理	(28)
2.5 网孔电流法和节点电压法	(29)
2.5.1 网孔电流法	(29)
2.5.2 节点电压法	(31)
2.6 戴维南定理和最大功率传输	(34)
2.6.1 戴维南定理	(34)
2.6.2 最大功率传输	(36)
2.7 受控源	(38)
本章小结	(40)
习题	(41)
第3章 电路的过渡过程	(46)
3.1 概述	(46)
3.1.1 过渡过程的概念	(46)
3.1.2 过渡过程的产生	(46)
3.1.3 暂态分析的意义	(47)
3.2 储能元件	(47)
3.2.1 电容元件	(47)
3.2.2 电感元件	(49)
3.3 初始值和稳态值的确定	(51)
3.3.1 换路定则	(51)
3.3.2 初始值的确定	(51)
3.3.3 电路稳态值的确定	(53)
3.4 RC 电路的暂态分析	(54)
3.4.1 一阶电路的三要素公式	(54)
3.4.2 一阶 RC 电路的响应	(56)
3.5 微分电路与积分电路	(60)
3.5.1 微分电路	(60)
3.5.2 积分电路	(61)
3.6 RL 电路的暂态分析	(62)
本章小结	(65)
习题	(66)

第4章 正弦交流电路稳态分析	(69)
4.1 正弦交流电	(69)
4.1.1 正弦量的三要素	(69)
4.1.2 正弦量的相量表示	(71)
4.2 电阻、电感、电容在交流电路中的特性	(73)
4.2.1 正弦交流电路中的元件	(73)
4.2.2 阻抗的串联和并联	(77)
4.2.3 正弦交流电路的功率及功率因数	(82)
4.2.4 功率因数的提高	(83)
4.3 三相交流电路	(84)
4.3.1 三相电源	(84)
4.3.2 三相负载电路	(88)
4.4 日光灯照明电路	(91)
4.4.1 日光灯电路的组成	(91)
4.4.2 日光灯电路的工作原理	(93)
4.4.3 日光灯的优缺点及使用注意事项	(93)
本章小结	(94)
习题	(96)
第5章 谐振电路	(99)
5.1 串联谐振电路	(99)
5.1.1 串联谐振基本概念	(99)
5.1.2 谐振电路的选择性和通频带	(101)
5.2 并联谐振电路	(103)
5.2.1 RLC 并联谐振电路	(103)
5.2.2 电感线圈与电容并联谐振电路	(104)
本章小结	(105)
习题	(106)
第6章 磁路与变压器	(108)
6.1 铁芯线圈、磁路	(108)
6.1.1 磁路的基本物理量	(108)
6.1.2 磁路欧姆定律	(111)
6.1.3 铁磁物质的磁性能	(112)
6.1.4 铁磁材料的分类和用途	(114)
6.1.5 铁芯损耗	(115)
6.1.6 主磁通原理	(116)
6.2 变压器基本结构和工作原理	(117)

6.2.1	变压器的基本结构	(117)
6.2.2	变压器的工作原理	(118)
6.2.3	变压器的外特性及性能指标	(124)
6.3	使用中的常见变压器	(126)
6.3.1	电力变压器	(126)
6.3.2	自耦变压器	(127)
6.3.3	电焊变压器	(128)
6.3.4	仪用互感器	(129)
	本章小结	(131)
	习题	(132)
第7章	安全用电与防雷	(135)
7.1	家庭安全用电	(135)
7.1.1	安全用电基本知识	(135)
7.1.2	触电形式及其急救方法	(136)
7.1.3	家庭安全用电常识	(139)
7.2	保护接地和保护接零	(140)
7.2.1	工作接地	(140)
7.2.2	保护接地	(140)
7.2.3	保护接零	(140)
7.2.4	漏电保护	(142)
7.2.5	直接电击和间接电击的防护措施	(142)
7.3	防雷保护	(143)
7.3.1	雷电的形成及雷击形式	(143)
7.3.2	防雷的重要意义	(143)
7.3.3	防雷措施	(144)
	本章小结	(146)
	习题	(146)
第8章	信号与系统概述	(146)
8.1	信号的基本知识	(148)
8.1.1	消息、信息和信号	(148)
8.1.2	信号的分类与描述	(148)
8.1.3	常用典型信号及其基本特性	(149)
8.1.4	奇异信号及其基本特性	(150)
8.1.5	信号的基本运算及波形变换	(150)
8.1.6	信号的分解	(151)
8.2	无线电波的发射与接收	(151)
8.2.1	无线电波基本知识	(151)

8.2.2 无线电广播的发射与接收	(152)
8.2.3 无线电广播收音机	(154)
8.3 系统与网络简介	(155)
8.3.1 系统	(155)
8.3.2 网络	(158)
本章小结	(158)
习题	(159)
第9章 电工基础实验	(160)
9.1 实验基本要求	(160)
9.1.1 实验守则	(160)
9.1.2 安全操作知识	(160)
9.1.3 编写实验报告	(160)
9.2 实验一 电源外特征的测定	(160)
9.3 实验二 线性与非线性元件伏安特性的测定	(161)
9.4 实验三 电位值、电压值的测定	(163)
9.5 实验四 基尔霍夫定律的验证	(164)
9.6 实验五 叠加原理和戴维南定理的验证	(165)
9.7 实验六 负载获得最在功率的条件	(166)
9.8 实验七 交流电路参数的测定	(167)
9.9 实验八 日光灯电路的连接及功率因素提高	(168)
9.10 实验九 RLC 串联谐振	(170)
9.11 实验十 三相负载的星、三角接法	(171)
9.12 实验十一 电容器的充放电过程	(172)
9.13 实验十二 互感电路	(174)
参考文献	(176)

第1章 电路基本概念和基本定律

本章介绍电路组成和电路模型，讲述电流、电压、电能、电功率等基本物理量；讨论欧姆定律、基尔霍夫定律等电路基本定律。

1.1 电路和电路模型

1.1.1 电路组成

在日常生活中，人们广泛使用着各种各样的电路，例如手电筒照明电路、信号放大电路等。实际电路是由电气器件相互连接而构成的，从而实现一定的功能。这里所谓的电气器件泛指实际的电路部件，如电阻、电感、电容、变压器等。如图1-1所示的手电筒照明电路中，干电池提供电能；电灯泡利用电能发光；导线将干电池和电灯泡连接成通路；开关控制电路通断。

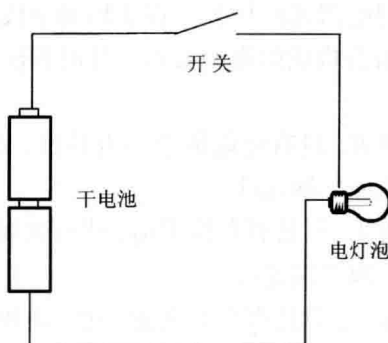


图1-1 手电筒照明电路

由手电筒照明电路可知，任何电路都可以划分为三部分：

- (1) 电源：提供电能的设备，在电路中的作用是向负载提供电能。
- (2) 负载：将电能转换为其他形式能量的设备，在电路中接受电能。
- (3) 中间环节：包括将电源和负载连接成通路的导线，负责控制电路通断的开关以及保护、检测设备。

电路的基本作用有两个：一是实现电能的转换和传输，即在电路中，随着电流的通过，进行着从其他形式的能量转换成电能、电能的传输和分配，以及把电能转换成所需要的其他形式能量的过程。例如在电力系统中，发电厂的发电机组把热能或原子能或水能等转化成电能，通过变压器、输电线等输送给各用电单位，然后又把电能转换成机械能、光能、热能等。

二是信号的处理。通过电路把施加的信号变换成其他需要的输出。例如收音机的调谐电路是用来选择所需要的信号的,而由于收到的信号很微弱,所以需要专门放大信号用的放大电路。调谐电路和放大电路的作用就是处理激励信号使之成为所需要的响应。

1.1.2 理想电路元件

为了便于用数学方法分析电路,一般要将实际电路模型化,用足以反映其电磁性质的理想电路元件或其组合来模拟实际电路中的器件,从而构成与实际电路相对应的电路模型。图 1-2 是 5 种基本理想元件的图形符号。

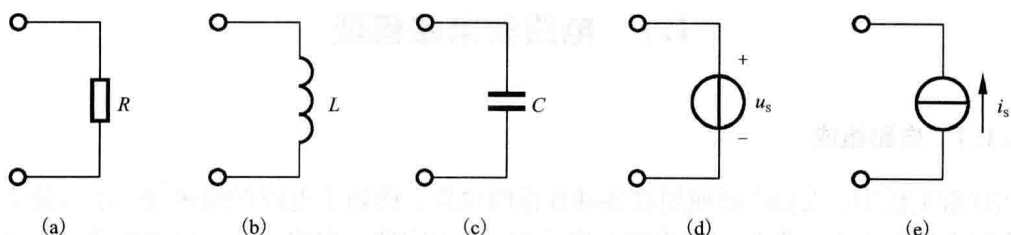


图 1-2 5 种基本理想元件的图形符号

(a) 电阻; (b) 电感; (c) 电容; (d) 电压源; (e) 电流源

实际电路中的元件都可以用理想元件或者他们的组合表示。例如电灯泡主要特性是把电能转换成热能,因此可以用理想电阻元件代替。在工作频率较低的时候,一个线圈可以用理想电阻和理想电感元件的串联组合构成的模型表示,当频率较高的时候,线圈的绕线之间的电容效应就不能忽略了。

图 1-2(a)是理想电阻元件 R ,具有耗能的单一电特性,即吸收电能转换为其他形式的能量的过程不可逆,因此属于无源二端元件。

图 1-2(b)是理想电感元件 L ,只具有存储磁场、建立磁场的单一电特性,即在电路中只交换能量而不耗能,因此属于无源二端元件。

图 1-2(c)是理想电容元件 C ,只具有存储电能、建立电场的单一电特性,即在电路中只交换能量而不耗能,因此属于无源二端元件。

1.1.3 电路的工作状态

电路一般有三种工作状态:通路、开路和短路,如图 1-3 所示。

1. 通路

图 1-3(a)中,开关 S 闭合,电路中电源和负载构成闭合回路,电路中有电流流过,处于通路状态。

2. 开路

图 1-3(b)中,开关 S 断开或者电路中某处断开,电路中没有电流流过,处于开路状态,又称为断路状态。

3. 短路

图 1-3(c)中,当电路中某两点由导线连接,称负载被短路。电路发生短路时,由于电

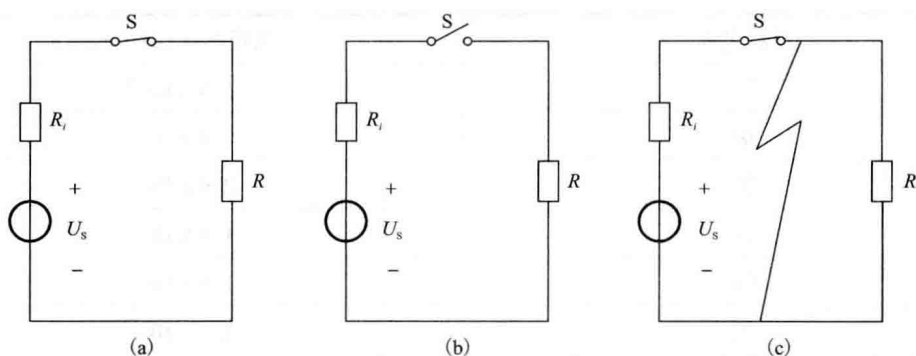


图 1-3 电路的三种工作状态

(a)通路; (b)开路; (c)短路

流总是走捷径,而短接线的电阻近似为零,远小于负载电阻,因此本来流过负载的电流不再从负载中流过,而是通过短路的导线直接流回电源。短路一般分为有用短路和故障短路,故障短路往往会造成电路中电流过大,使电路无法正常工作,严重的会产生事故。

1.2 电阻元件

1.2.1 电阻元件特性

电阻是电工技术中使用最多的元器件之一,在电路中的主要作用是限流和分压。

不同材料的物质载体通过相同电流时呈现的阻力差异很大。对电流呈现阻力非常大,导电性能几乎为零,如塑料、云母之类称为绝缘体;对电流呈现的阻力很小,导电性能很好,如铝、铜等称为导体;对电流呈现的阻力介于绝缘体和导体之间的,如硅、锗等称为半导体。

导体对电流呈现的阻碍作用称为电阻。从本质上来看,电阻的阻值大小取决于物质本身的电阻率、导体的长度和截面。电阻遵循以下规律:

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

式中: ρ ——导体的电阻率,单位是 $\Omega \cdot \text{m}$ (欧米),表 1-1 为常用材料在 20°C 时的电阻率;

l ——导体的长度,单位是 m (米);

S ——导体的截面,单位是 m^2 (平方米);

式(1-1)称为电阻定律。

电阻 R 的单位是欧姆(Ω)。实际使用时还会用到千欧($\text{k}\Omega$)、兆欧($\text{M}\Omega$)。它们之间的换算关系是

$$1 \text{ k}\Omega = 10^3 \Omega$$

$$1 \text{ M}\Omega = 10^3 \text{ k}\Omega = 10^6 \Omega$$

表 1-1 常用材料在 20℃时的电阻率

材料名称	电阻率 $\rho/(\Omega \cdot \text{m})$
银	1.6×10^{-8}
铜	1.7×10^{-8}
铝	2.9×10^{-8}
铁	1.0×10^{-7}
锡	1.1×10^{-7}
钢	2.5×10^{-7}
锰铜	4.4×10^{-7}
康铜	5.0×10^{-7}
镍铬合金	1.0×10^{-6}
铁铬铝合金	1.4×10^{-6}
铝镍铁合金	1.6×10^{-6}
石墨	$(8 \sim 13) \times 10^{-6}$

【例 1-1】 一捆铝芯绝缘导线，电阻率是 $2.9 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$ ，长度是 150 m，横截面积是 1 mm^2 ，求这捆导线的电阻。

解：已知 $S = 1 \text{ mm}^2$ ， $l = 150 \text{ m}$ ， $\rho = 2.9 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$

得 $R = \rho \frac{l}{S} = 2.9 \times 10^{-8} \times \frac{150}{1 \times 10^{-6}} = 4.35 (\Omega)$

1.2.2 电阻元件的伏安曲线和功率

如果横坐标(纵坐标)为电阻元件的电压，纵坐标(横坐标)为电阻元件的电流，画出电压和电流的关系曲线，这条曲线称作该元件的伏安曲线。线性电阻元件的伏安特性曲线在 $u-i$ ($i-u$) 平面内是一条通过坐标原点的直线，如图 1-4 所示。

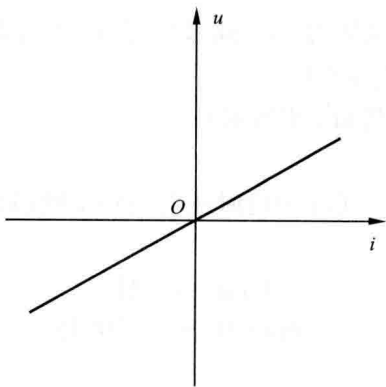


图 1-4 线性电阻元件的伏安特性曲线

在电压和电流为关联参考方向下,任何时刻线性电阻元件吸取的电功率

$$P = UI = I^2 R = \frac{U^2}{R} \quad (1-2)$$

由式(1-2)可以看出,电阻元件上的电功率 $P \geq 0$,说明电阻元件在任何时刻不可能发出电能,也就是它吸收的电能全部转换成其他非电能量而被消耗掉或者作为其他用途,即为电阻元件是耗能元件。

【例1-2】 标有“25Ω, 225W”的电阻元件,问其允许通过的最大额定电流和电压是多少?

解: 因为

$$P = I^2 R \quad 225 = I^2 \times 25$$

得

$$I = 3(\text{A})$$

因为

$$P = \frac{U^2}{R} \quad 225 = \frac{U^2}{25}$$

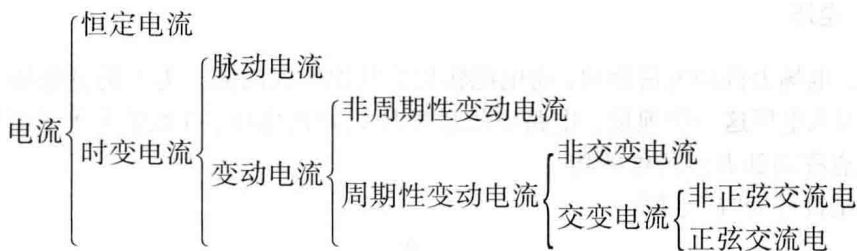
得

$$U = 75(\text{V})$$

1.3 电路基本物理量

1.3.1 电流

导体内部存在大量的自由电子,当导体两端在外加电场作用下的时候,导体内的自由电子就会定向移动形成电流。根据电流的大小和方向对时间变化的情况,电流可分为以下类型。



恒定电流:大小和方向都不随时间变化的电流,简称直流,一般用“DC”表示。

时变电流:大小和方向或两者之一随时间变化的电流。

脉动电流:方向不变,但大小随时间变化的电流。

变动电流:大小和方向均随时间变化的电流。

周期性变动电流:每隔一段时间,总是重复前面变化的电流。

交变电流:在一个周期内,电流平均值为零的周期性变动电流,简称交流,一般用“AC”表示。

正弦交流电路:按正弦规律变化的交变电流。

电流的大小一般用电流强度定义,即

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1-3)$$

对于直流电, 电流强度可表示为:

$$I = \frac{q}{t} \quad (1-4)$$

电量 q 的单位是库仑(C), 时间 t 的单位是秒(s), 电流 i 的单位是安培(A)。电流的单位还有千安(kA)、毫安(mA)、微安(μA)和纳安(nA), 换算关系如下:

$$1\text{kA} = 10^3\text{A}$$

$$1\text{A} = 10^3\text{mA} = 10^6\mu\text{A} = 10^9\text{nA}$$

1.3.2 电流的测量

测量电流采用电流表, 理论分析时, 为了简化分析问题的步骤, 常把电流表的内阻忽略为零。实际上, 电流表的内阻非常小, 测量时必须把电流表串联在电路中。如果误将电流表并联在电路中, 会因为内阻比较小造成电流过大导致电流表烧毁。

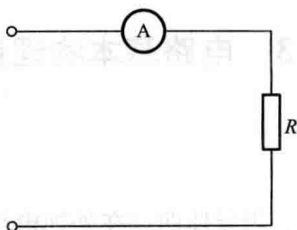


图 1-5 电流测量示意图

1.3.3 电压

电路中, 电场力推动电荷做功, 将电能转化为其他形式的能。为了衡量电场力对电荷的做功能力, 引入电压这一物理量。电路中任意两点 A 、 B 的电压, 在数值上等于电场力将单位正电荷从 A 点移动到 B 点所做的功。

直流电压符号为“ U ”, 则

$$U = \frac{W}{q} \quad (1-5)$$

交流电压符号为“ u ”, 则

$$u = \frac{dW}{dq} \quad (1-6)$$

电压的单位为伏特(V), 常用的还有千伏(kV)、毫伏(mV)和微伏(μV)。它们之间的换算关系为:

$$1\text{kV} = 10^3\text{V}$$

$$1\text{V} = 10^3\text{mV} = 10^6\mu\text{V}$$

1.3.4 电位

电路中, 任意选择一点作为参考点, 则某点到这个参考点的电压就叫做这一点相对于参考点的电位。参考点在电路图中一般用符号“ $\perp$ ”表示。

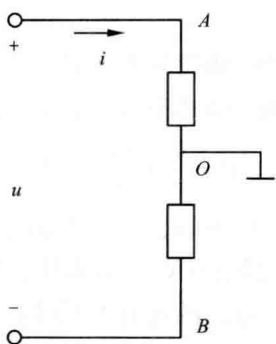


图 1-6 电位示意图

如图 1-6 所示, 电位符号用 φ 表示, 以 O 点为参考点, A 点电位记作 φ_A , B 点电位记作 φ_B , 则 $\varphi_A = U_{AO}$ 。

$$U_{AB} = U_{AO} + U_{OB} = U_{AO} - U_{BO} = \varphi_A - \varphi_B$$

由此可见, 两点间的电压就是这两点的电位之差。电压的实际方向是从高电位指向低电位, 所以电压也称电压降。

1.3.5 电压的测量

在电路中, 一般选用电压表或者万用表电压挡测量电压。理论分析时, 为了简化分析问题的步骤, 常常认为理想电压表的内阻为无穷大。实际上, 电压表的内阻非常大, 测量时必须把电压表并联在电路中。如果误将电压表串联在电路中, 会因为内阻比较大造成电表不动作。

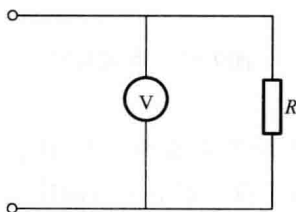


图 1-7 电压测量示意图

1.3.6 电能

电场力推动电荷做功, 将电能转换为其他形式的能量。因此消耗多少电能, 可以用电场力做的功来度量。

电功的计算公式:

$$W = UIt \quad (1-7)$$

电能的单位是焦耳(J), 另一个常用单位是千瓦时($\text{kW} \cdot \text{h}$), 1 千瓦时就是 1 度电。即

$$1\text{kW} \cdot \text{h} = 3.6 \times 10^6 (\text{J})$$

1.3.7 电功率

电能对时间的变化率就是电功率,用符号 P 表示。

当电压和电流为关联参考方向时,电功率可以定义为:

$$P = \frac{W}{t} = \frac{UIt}{t} = UI \quad (1-8)$$

当 $P > 0$ 时,元件吸收电能;当 $P < 0$ 时,元件释放电能。

在国际单位中,电压 U 的单位是伏特(V),简称伏;电流 I 的单位是安培(A),简称安;功率 P 的单位是瓦特(W),简称瓦,常用的还有千瓦(kW)、毫瓦(mW)。它们之间的换算关系如下:

$$1\text{kW} = 10^3\text{W}$$

$$1\text{W} = 10^3\text{mW}$$

1.3.8 电压和电流的参考方向

电流在电路中的实际方向只有两种可能,如图 1-8 所示。图 1-8(a)中,当有正电荷从 A 端流入并从 B 端流出时,习惯上称电流从 A 端流向 B 端,反之,在图 1-8(b)中认为电流从 B 端流向 A 端。实际分析电路时,有时会对某一段电路中的电流实际流向很难预先判断出来,为了解决这个问题,引入“参考方向”的概念。

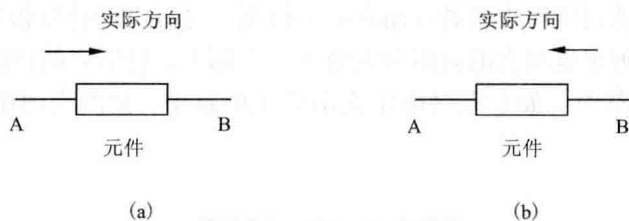


图 1-8 电流方向

在图 1-9 中,任意选定一个方向为电流的参考方向(图中实线表示),电流的实际方向(图中虚线表示)不一定和参考方向一致。把电流看做代数量,当电流的参考方向和实际方向一致时[见图 1-9(a)],电流为正值;当电流的参考方向和实际方向相反时[见图 1-9(b)],电流为负值。因此,在确定电流的参考方向情况下,电流值的正负反映了电流的实际方向。

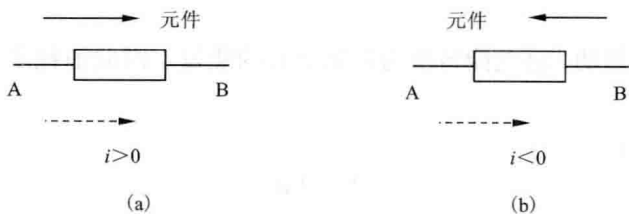


图 1-9 电流的参考方向