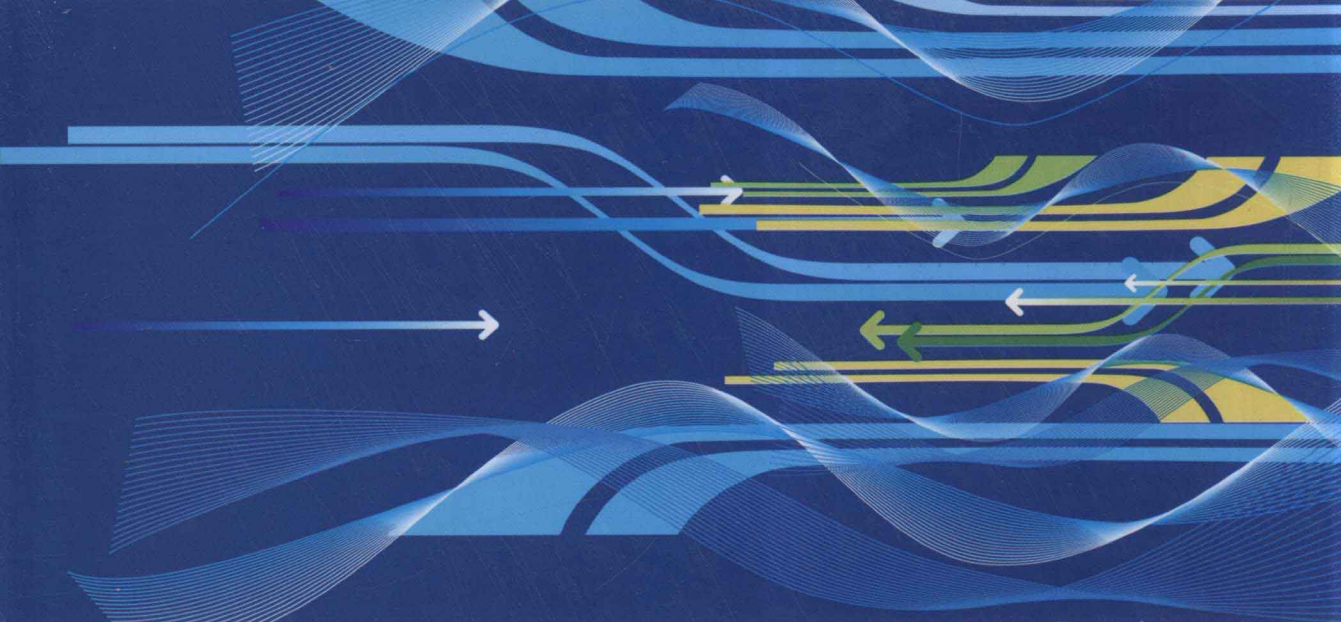
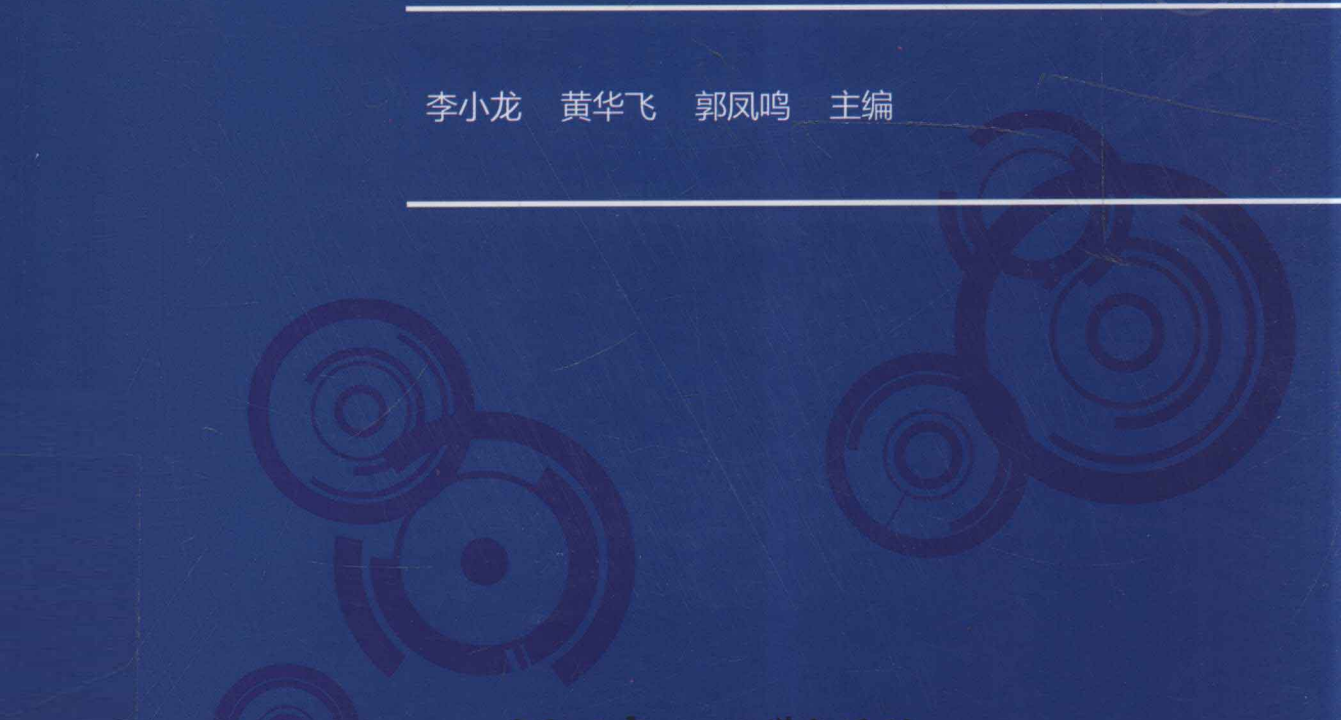


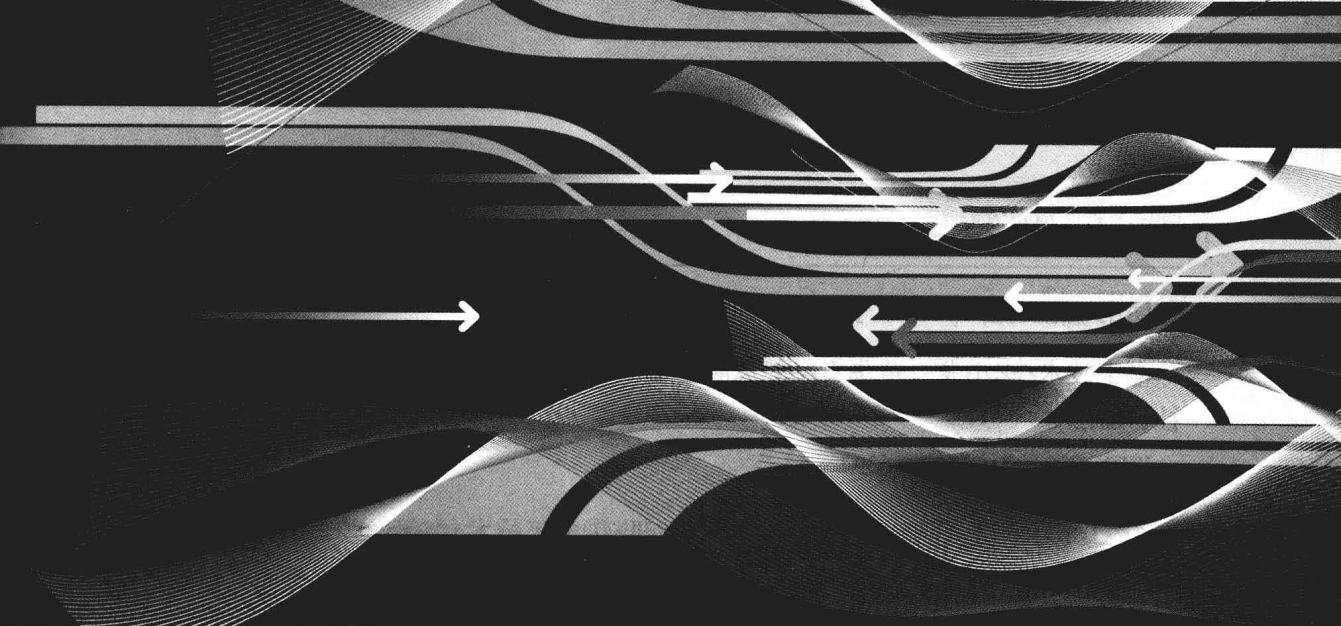


电工技术

李小龙 黄华飞 郭凤鸣 主编



 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS



电工技术

主 编 李小龙 黄华飞 郭凤鸣

副主编 刘秀峰 贺应和 胡良君 王红梅 宋 锐

参 编 吴海峰 叶 倩 赵吉清 黄 华 张 凯

主 审 李文华

版权专有 侵权必究

图书在版编目 (CIP) 数据

电工技术/李小龙, 黄华飞, 郭凤鸣主编. —北京: 北京理工大学出版社, 2012. 8

ISBN 978-7-5640-6392-4

I. ①电… II. ①李… ②黄… ③郭… III. ①电工技术-高等学校-教材
IV. ①TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 179660 号

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010)68914775(总编室) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 天利华印刷装订有限公司

开 本 / 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张 / 10.5

字 数 / 239 千字

版 次 / 2012 年 8 月第 1 版 2012 年 8 月第 1 次印刷

责任编辑 / 张慧峰

印 数 / 1~1500 册

责任校对 / 陈玉梅

定 价 / 38.00 元

责任印制 / 王美丽

图书出现印装质量问题, 本社负责调换

21 世纪将是不同领域科学技术创造性融合的时代。当今,电工技术的应用不但发展迅速,而且日益渗透到非电专业的各个学科领域。同时,所有的非电专业也已经或正在利用与电工学科的交叉、渗透、融合促进其发展。电工技术作为高等工科学校非电专业的一门技术基础课,其特点是“量大面广”,教学内容几乎涉及电工学科各个领域。虽然其内容要求不深,但知识面广,信息量大,是工科学生知识结构中不可缺少的重要部分。从这一点来看,电工技术不仅是一门技术基础课,而且是一门素质教育课。

本书主要内容包括:电路基础知识、电路的分析方法、正弦交流电路、三相交流电路、电路的暂态分析、磁路和变压器、电动机、继电接触器控制、安全用电、电工测量等。为方便学生理解,本书设计与教学内容结合紧密的例题、思考题和习题。

本书由李小龙、黄华飞和郭凤鸣担任主编,刘秀峰、贺应和、胡良君、王红梅、宋锐担任副主编,李文华担任主审,具体分工如下:李小龙确定总体方案,黄华飞制定编写大纲,郭凤鸣负责统稿,李文华负责定稿工作,叶倩和赵吉清参与了初稿的全部审阅工作。各章编写分工如下:第 1 章由吴海峰编写,第 2 章由吴海峰和胡良君编写,第 3 章由李小龙编写,第 4 章由黄华飞编写,第 5 章由黄华飞和王红梅编写,第 6 章由黄华编写,第 7 章由刘秀峰编写,第 8 章由贺应和编写,第 9 章由郭凤鸣编写,第 10 章由张凯编写,第 11 章由张凯和宋锐编写。

本书简明扼要,但却涵盖了非电类专业对电工技术课程要求的全部内容。因此,既可作为高等院校的教材,也可作为从事相关专业的工程技术人员的参考用书。

限于编者的水平以及时间仓促,书中难免有疏漏和不妥之处,敬请读者批评指正,编者不胜感激。

Contents 目录

Contents

第1章 电路的基本概念和定律	1
1.1 电路和电路模型	1
1.1.1 电路	1
1.1.2 电路模型	2
1.2 电路的基本物理量	2
1.2.1 电流	2
1.2.2 电压	3
1.2.3 电功率	5
1.3 欧姆定律与电阻元件	6
1.3.1 欧姆定律	6
1.3.2 电阻元件	7
1.4 基尔霍夫定律	8
1.4.1 基尔霍夫电流定律	8
1.4.2 基尔霍夫电压定律	9
1.5 独立电源和受控源	9
1.5.1 电压源	9
1.5.2 电流源	10
1.5.3 受控源	11
本章小结	12
习 题	12
第2章 电阻电路分析方法	15
2.1 电阻串联和并联	15
2.1.1 电阻的串联	15
2.1.2 电阻的并联	16
2.1.3* 电阻元件的星形连接和三角形连接的等效变换	19
2.2 电源的等效变换	21
2.2.1 理想电源的串联和并联	21
2.2.2 实际电源的等效变换	22
2.3 支路电流法	23

目 录

2.4 节点电压法	25
2.5 叠加原理	27
2.6 戴维宁定理	28
本章小结	29
习 题	30
 第3章 正弦交流电路稳态分析	35
3.1 正弦交流的概念	35
3.1.1 正弦交流电的基本概念	35
3.1.2 正弦量的三要素	35
3.1.3 正弦电流、电压的有效值和相位差	36
3.2 正弦交流电的相量表示	38
3.2.1 复数和常用的表示方法	38
3.2.2 正弦量的相量表示方法	39
3.3 单一元件伏安关系的相量表示	39
3.3.1 电阻元件伏安关系的相量形式	39
3.3.2 电感元件伏安关系的相量形式	40
3.3.3 电容元件伏安关系的相量形式	42
3.4 基尔霍夫基本定律相量表示和相量图	43
3.4.1 KCL 和 KVL 的相量形式	43
3.4.2 相量图的画法	44
3.5 复阻抗与复导纳的概念及等效变换	45
3.5.1 复阻抗与复导纳的概念	45
3.5.2 RLC 电路的阻抗计算	46
3.5.3 阻抗的串并联计算	48
3.6 正弦电路稳态分析	49
3.7 正弦稳态电路功率和功率因数的提高	50
3.7.1 正弦稳态电路的功率	50
3.7.2 功率因数和功率因数的提高	53
3.7.3 最大功率传输	54
3.8 谐振电路	55
3.8.1 串联谐振	55
3.8.2 并联谐振	58
本章小结	60
习 题	61
 第4章 三相交流电路	64
4.1 对称三相交流电源	64

4.1.1 对称三相正弦电压	64
4.1.2 三相电源的连接	65
4.2 三相负载	66
4.2.1 三相负载的星形连接	66
4.2.2 三相负载的三角形连接	67
4.3 三相电路的功率	69
4.3.1 有功功率的计算	69
4.3.2 无功功率的计算	69
4.3.3 视在功率的计算	70
4.3.4 瞬时功率的计算	70
本章小结	72
习 题	73
 第5章 电路的过渡过程	74
5.1 换路定则与初始值	74
5.2 一阶 RC 电路的暂态分析	76
5.2.1 一阶 RC 电路的零输入响应	76
5.2.2 一阶 RC 电路的零状态响应	78
5.2.3 一阶 RC 电路的全响应	79
5.3 一阶 RL 电路的暂态分析	81
5.3.1 一阶 RL 电路的零输入响应	81
5.3.2 一阶 RL 电路的零状态响应与全响应	83
5.4 一阶电路的三要素法	84
本章小结	86
习 题	86
 第6章 磁路	88
6.1 磁路的基本概念和基本定律	88
6.1.1 磁路	88
6.1.2 磁路中的基本物理量	88
6.2 磁路的基本定律	89
6.3 交流铁芯线圈电路	90
6.4 电磁铁	91
本章小结	92
习 题	93
 第7章 交流电动机	94
7.1 三相异步电动机的结构	94

7.1.1	定子	94
7.1.2	转子	95
7.1.3	气隙	95
7.1.4	异步电动机的铭牌数据	95
7.2	三相异步电动机的工作原理	96
7.2.1	旋转磁场的产生和参数	96
7.2.2	三相异步电动机的工作原理	97
7.2.3	转差率	98
7.3	三相异步电动机的机械特性	98
7.3.1	机械特性的参数表达式	98
7.3.2	机械特性的实用表达式	99
7.4	三相异步电动机的电力拖动	100
7.4.1	三相异步电动机的启动	100
7.4.2	三相异步电动机的制动	103
7.4.3	三相异步电动机的调速	105
7.5	单相异步电动机	107
7.5.1	单相异步电动机概述	107
7.5.2	单相异步电动机的工作原理	108
7.5.3	单相异步电动机的主要类型	108
7.5.4	单相异步电动机的应用	109
	本章小结	109
	习 题	110

第8章	变压器	112
8.1	变压器的基本结构和原理	112
8.1.1	变压器的分类	112
8.1.2	变压器的基本结构	112
8.1.3	变压器的工作原理	113
8.2	变压器的应用	114
8.2.1	变压器的外特性	114
8.2.2	变压器的损耗和效率	115
8.2.3	变压器的额定值	115
8.3	三相变压器及其连接方式	116
8.3.1	三相变压器	116
8.3.2	三相变压器的连接方式	116
8.4	特殊变压器	117
8.4.1	自耦变压器	117
8.4.2	仪用互感器	118
8.4.3	电焊变压器	119

本章小结.....	119
习 题.....	120
第 9 章 继电器接触器控制系统	121
9.1 常用低压电器	121
9.2 三相异步电动机的基本控制电路.....	125
9.3 电气原理图的识读	126
本章小结.....	129
习 题.....	129
第 10 章 安全用电知识	130
10.1 用电设备安全	130
10.1.1 过负荷保护	130
10.1.2 短路保护	130
10.1.3 欠压和失压保护	130
10.1.4 缺相保护	130
10.1.5 防止误操作	131
10.2 电气作业安全规定	131
10.2.1 倒闸操作规定	131
10.2.2 电气试验工作规定	131
10.2.3 带电作业规定	132
10.3 电气防火、防爆	132
10.3.1 电气火灾和爆炸原因.....	132
10.3.2 电气灭火知识	134
10.4 触电急救	135
10.4.1 触电类型及触电事故的特点	135
10.4.2 触电伤害的临床表现.....	136
10.4.3 触电现场的处理	137
10.5 触电的防护	139
10.5.1 绝缘	139
10.5.2 外壳保护	139
10.5.3 屏护	139
10.5.4 间距	139
10.5.5 安全电压	139
10.5.6 接地和接零保护	139
本章小结.....	141
习 题.....	142

第 11 章 电工测量的基本知识	143
11.1 电工测量	143
11.2 电工仪表分类	143
11.3 测量误差	143
11.4 指示仪表的基本结构和工作原理	145
11.4.1 磁电式仪表	146
11.4.2 电磁式仪表	146
11.4.3 电动式仪表	147
11.5 电流、电压和功率的测量	147
11.5.1 电流的测量	147
11.5.2 电压的测量	148
11.5.3 电功率的测量	150
11.6 万用表	152
11.7 兆欧表	155
本章小结	156
习 题	157

第 1 章

电路的基本概念和定律

本章主要介绍电路的基本概念、基本元件和基本定律。其中电路的基本概念包括：电流、电压、功率、参考方向和等效电路，对于这部分内容要掌握各概念的定义、单位及物理意义；电路的基本元件包括：电阻元件、电压源、电流源和受控源，这部分要重点理解相关知识点，掌握各元件的 $V-A$ 关系；电路的基本定律为基尔霍夫定律，它既适用于直流电路，也适用于交流电路，对含有电子元器件的非线性电路也适用，要熟练掌握。

综上所述，这一章是本课程的重要理论基础。

1.1 电路和电路模型

1.1.1 电路

电荷有规则的运动形成电流。电流所流通的路径就是电路。它是由若干电气元件和设备按一定方式连接而组成的总体。电路的每一个组成部分叫元器件，元器件种类繁多，特性各异，如电池、电灯、电炉、电动机等，人们根据自己的需要，设计和制造了各种各样不同的电路，引导电荷在特定的电路中移动，从而得到自己所预想的效果。电路的作用大致可分为：①实现能量的转换、传输和分配，如供电电路；②实现信号的产生、传送和处理，如电子电路；③测量电量，如万用表电路；④进行各种各样数学运算和信息存储，如计算机的电路。

组成各种实际电路的元器件虽多，但根据它们在电路中所起的作用，这些元件一般可以分成三大类：一类是向电路提供能量和信号的元件，叫做电源，如电池、发电机等；一类是使用电能和输出信号的器件，叫做负载，如电灯、电炉、显像管等；还有一类是把电源和负载连接在一起叫中间环节，如导线、开关、电视机内部电路等等。如图 1-1(a) 所示是一个最简单的电路，电路中的电池是电源，灯泡是负载，二者用导线连接在一起。习惯上，把电源部分的电路叫做内电路，把电路的其余部分，包括中间环节和负载等，叫做外电路。

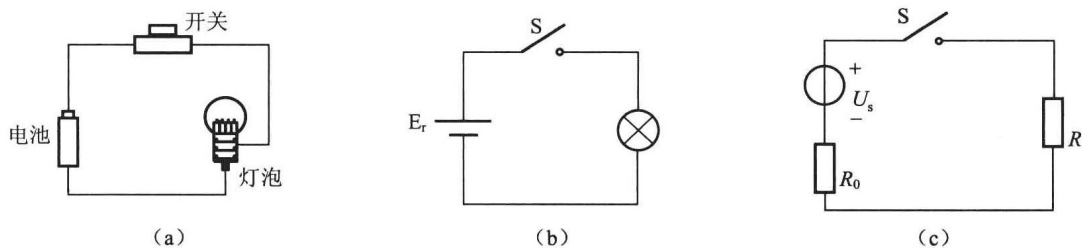


图 1-1 电路

(a) 实物图; (b) 原理图; (c) 电路模型图

1.1.2 电路模型

现实中的电路元件种类繁多,特性各异,由它们组成的电路千变万化,十分复杂。为了更完整、简洁地表示电路,我们用一些简单的符号表示组成电路的器件,这些符号是对实际的电路电磁性质进行科学的抽象与概括的结果,它们可以建立数学模型,为简化电路画法,用一定符号代表一种理想元件。所谓的理想元件,是指在一定条件下能突出其主要电磁性能,只反映电路的某一种能量转换的元件,主要有电阻元件、电感元件、电容元件、理想电压源和理想电流源。它们通过两个连接端子与电路相接,因此叫二端元件,它们的电路符号见图1-2所示。

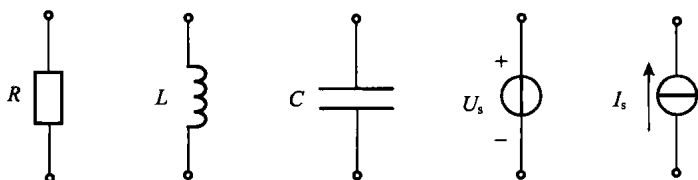


图1-2 理想元件符号

理想元件由图形符号和文字符号组成,它们的特性将在后面仔细研究。有了这些理想元件,我们就可以将实际电路元件用单个理想元件或几个理想元件的组合来等效代替。例如:一个电池可以用一个电压源和一个电阻相串联的等效电路来近似代替;灯泡可以近似看作一个电阻元件。将实际元件用理想元件替换后,我们可以得到一个理想元件组成的电路,它能反映原来电路在特定条件下的主要特性。这个由理想元件组成的电路叫做实际电路的电路模型。图1-1(c)即为图1-1(a)的电路模型图。图中电压源 U_s 和电阻 R_0 近似代替了原来电路中的电池,电阻 R 近似代替了原来的灯泡。这样做的结果,不仅简化了电路的画法,更重要的是,由于电路中只包含了为数不多的、特性比较简单的理想元件,使电路的分析计算大大简化。电路理论的研究对象主要是这种理想化的电路模型。本书今后所涉及的电路分析和定律是在这样的电路模型下使用。

1.2 电路的基本物理量

对电路进行分析主要是分析电路的电流、电压和功率。

1.2.1 电流

电荷的有规则运动形成电流,而电流强度是表示电流强弱的物理量,我们把单位时间内通过导体横截面的电荷量定义为电流强度,简称为电流,用 i 表示,即

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1-2-1)$$

在国际单位制(SI)中,电流强度的单位为安培(简称为A)。1安=1库/秒,常用单位还有毫安(mA)、微安(μ A)、千安(kA)等,它们与安培的换算关系为

$$1 \text{ mA} = 10^{-3} \text{ A}; \quad 1 \text{ } \mu\text{A} = 10^{-6} \text{ A}; \quad 1 \text{ kA} = 10^3 \text{ A}$$

本书的计算公式,如无特殊说明,均使用国际单位。

电流的实际方向习惯上规定为正电荷运动的方向。但在实际电路中,电流的实际方向

往往难以确定,如交流电路中电流的方向就常常变化,为了解决这个问题,通常先任意假设一个方向为电流的方向,称为电流的参考方向,在电路图中用箭头表示。如图 1-3 所示,

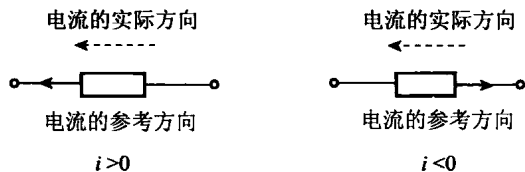


图 1-3 电流参考方向 and 实际方向的关系

若根据电路计算出电流 $i > 0$,说明电流的参考方向与实际方向相同,若电流 $i < 0$,说明参考方向与实际方向相反,这样,利用参考方向和电流的正负值就可判断实际电流方向。显然,电流强度的正负与参考方向密切相关,对同一电流,若选定的参考方向相反,其电流的正负也应相反,离开参考方向谈正、负就没有意义。只有同时知道电流的正负和参考方向,才能判定电流的实际方向。今后书上所指的电流方向都是参考方向。

在电路中,电流的大小和方向不随时间变化的叫恒定电流,简称直流(简写 DC),习惯上用大写字母 I 表示。若在 t 内通过导体横截面的电荷量是 Q ,则电流 I 可以用下式表示

$$I = \frac{Q}{t} \quad (1-2-2)$$

如果电流的大小和方向随时间变化,则称为变动电流。对电路分析来说,一种最为重要的变动电流是正弦交流电,其大小及方向均随时间按正弦规律作周期性变化,简称交流(简写 AC),习惯上用小写字母 i 表示。

1.2.2 电压

在电路中电荷能定向移动是因为电路存在电场,在电场力的作用下,把单位正电荷从电路的点 1 移到点 2 所做的功叫从点 1→点 2 的电压,即

$$u_{12} = \frac{dW_{12}}{dq} \quad (1-2-3)$$

不随时间变化的电压叫直流电压,随时间变化的电压叫交流电压。电压与电流均不随时间变化的电路叫直流电路;反之,叫交流电路。与直流电流的定义类似,直流电压的定义可简化为

$$U_{12} = \frac{\Delta W_{12}}{\Delta q} \quad (1-2-4)$$

式中用大写字母 U_{12} 表示直流电压。 U_{12} 的双下标分别表示计算电压的起点和终点。 ΔW_{12} 为电荷 Δq 从点 1 运动到点 2 时电场力作的功。

电压的国际单位为伏特(简写为 V),常用单位还有毫伏(mV)、微伏(μV)、千伏(kV)等,它们与伏特的换算关系为

$$1 \text{ mV} = 10^{-3} \text{ V}; \quad 1 \text{ } \mu\text{V} = 10^{-6} \text{ V}; \quad 1 \text{ kV} = 10^3 \text{ V}$$

在电路分析中,习惯上把电场力对正电荷作正功的方向叫作电压实际方向。但在实际中,像电流一样,也常常需要设电压的参考方向,且规定当参考方向与电压实际方向一致时,电压为正;当参考方向与电压的实际方向相反时,电压为负。在电路中表示电压的方向有三种,第一种方法是“+”、“-”号法,常以“+”号表示参考电压的正极,以“-”号表示参考电

压的负极,由“+”指向“-”的方向即为电压的参考方向,如图1-4(a)。第二种方法是箭头法,其中箭头所指的方向表示参考电压的方向,如图1-4(b)。第三种是双下标法,第一个下标为电压的参考正极,第二个下标为电压参考负极,如图1-4(c)。这三种表示方法实际是等效的,本书常用“+”“-”的标注方法。

对同一电路,当我们改变计算电压的参考方向后,电压的绝对值不变,但正、负号相反,即

$$U_{12} = -U_{21} \tag{1-2-5}$$

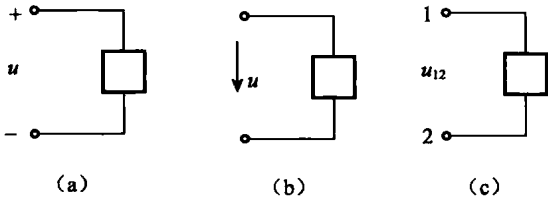


图1-4 电压的参考方向表示方法
(a)“+”“-”号法;(b)箭头法;(c)双下标法

在电路分析中,有时对电位讨论比讨论电压更为方便一些,那么何谓电位呢? 电位就是把单位正电荷从电路中任一点移到参考点时电场力所作的功。即如果把参考点记为 O ,电路中任一点 a 的电位用 V_a 表示,则

$$V_a = u_{a0} = \frac{dW_{a0}}{dq} \tag{1-2-6}$$

式中 dW_{a0} 为电荷 dq 从 a 点移动到 O 点时电场力作的功,电位与电压的单位相同,即伏特(V)。

理论研究时常取无穷远处为电位的参考点。根据定义,参考点的电位总是为零,即 $V_0 = 0$ 。实际上计算电位的参考点可任意选定,工程上常选大地、仪器外壳或底板作参考点。 V_a 电位为正,说明正电荷由点 a 移动到参考点时电场力作正功,习惯上说 a 点的电位高于参考点的电位; V_a 电位为负,说明正电荷由点 a 移动到参考点时电场力作负功,习惯上说 a 点的电位低于参考点的电位。

在电子电路中,为了简化电路,对有一端接地的电源不再画出电源符号,而是用电位来表示电压的大小和极性。如图1-5(b)就是图1-5(a)的习惯画法。

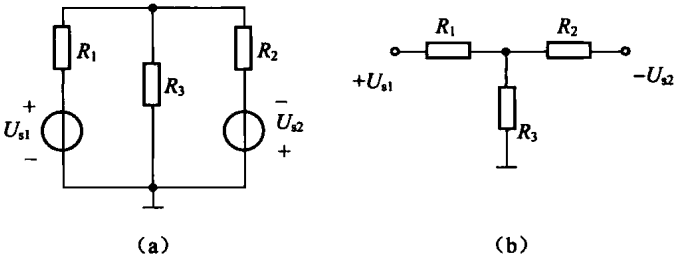


图1-5 电路的习惯性画法

根据电压和电位的定义可以得出,电路中任意两点间的电位差就是等于这两点间的电压。例如,设 a 、 b 两点间的电压为 U_{ab} , O 为参考点,则 a 点的电位为 $V_a = U_{aO}$, b 点的电位为 $V_b = U_{bO}$, 则

$$U_{ab} = V_a - V_b \quad (1-2-7)$$

电压的方向就是电位减小的方向,若 $U_{ab} = 0$, 即 $V_a = V_b$, 则称 a 、 b 两点为等位点。今后谈到电位和电压时一定要注意:对一点谈的是电位,对两点谈的是电压,在许多情况下不但要关心两点间的电压的大小,而且要关心这两点的电位高低,对同一电路的两点,不同的参考点,电压不变,但电位不同。

在电路分析和计算时,电流和电压的参考方向是任意假设的,但为了方便起见,元件上的电流和电压常取“关联”参考方向:若电流的参考方向由电压的正极流入,经过元件由负极流出时,即电流和电压参考方向一致时,这样假设的参考方向为关联参考方向,如图 1-6(a) 所示,否则,为非关联参考方向,如图 1-6(b) 所示。

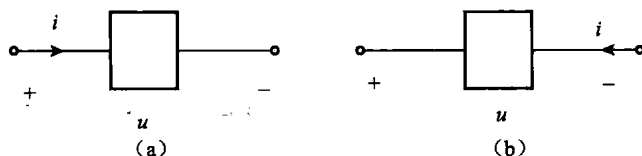


图 1-6 关联参考方向和非关联参考方向

(a) 关联参考方向; (b) 非关联参考方向

今后,在电路图中,如果元件只给出电流或电压任一个参考方向,则默认电压电流的参考方向为关联参考方向。

1.2.3 电功率

电流经过电路时,电场力对运动电荷作的功叫电功,若电流与电压的实际方向相同,正电荷由高电位端移向低电位端,电场力作正功,该电路消耗电能;若电流与电压实际方向相反,正电荷由低电位端移向高电位端,电场力作负功,非电场力推动电荷运动,电路输出电能。作功的速率叫电功率。如果知道电路的电流和电压的大小及参考方向,就可算出电路的电功率。

设任意二端网络的端电压为 u , 电流为 i , 电压与电流的参考方向一致,如图 1-6(a)。

在 dt 的时间内,电场力对电荷作的功为 dw , 由公式可得

$$dw = u \cdot dq = u \cdot i \cdot dt \quad (1-2-8)$$

dw 的正负与 u 、 i 的正负有关。 u 和 i 的参考方向一致时,若 dw 为正,说明 u 、 i 同时为正或同时为负,即电压和电流的实际方向总相同,电场力作正功,二端网络吸收电能;若 dw 为负,说明 u 、 i 的实际方向相反,电场力作负功,二端网络输出电能。

电功的国际单位是焦耳(J)。常用单位还有度。

在电路中,把电功对时间的变化率称为电功率,简称为功率,用 p 表示,即

$$p = \frac{dw}{dt} = \frac{u \cdot i \cdot dt}{dt} = u \cdot i \quad (1-2-9)$$

在直流电路中,功率可用下式计算

$$P = U \cdot I \quad (1-2-10)$$

功率的国际单位是瓦特(简称为 W),常用单位还有毫瓦(mW)、千瓦(kW)等。

功率的绝对值表示电路消耗或输出电能的速率。当电压与电流的参考方向一致时,若计算结果为正,即 $p > 0$,表示电路实际在吸收功率,电路相当于是负载;若计算结果为负,即 $p < 0$,表示电路实际在输出功率,电路相当于是电源。而当电压与电流的参考方向相反时,若 $p > 0$,表示电路实际在输出功率,起电源作用; $p < 0$,表示电路实际在吸收功率,起负载作用。

1.3 欧姆定律与电阻元件

电流、电压和电功率是描述电路特性的基本物理量,是学习电路理论必须搞清楚的基本概念。掌握了这些基本概念后,我们就可以开始研究电路的基本元件:电阻元件,电压源和电流源。研究各个元件时,关键在于掌握各元件的伏安特性。所谓元件的伏安特性,就是元件的端电压与元件中的电流之间的函数关系。知道了元件的伏安特性,就可算出元件的电功率;知道了电路中各元件的伏安特性,就可以进一步掌握整个电路的工作状态。由此可见,了解元件的伏安特性,是分析计算电路的基本条件。

1.3.1 欧姆定律

欧姆定律是说明常用导体伏安特性的重要定律。1826 年,德国科学家欧姆通过实验发现:当导体温度不变时,导体中的电流 i 与导体两端的电压 u 成正比,电流的方向是由高电位端流向低电位端。这就是有名的欧姆定律,即:

当 u 、 i 的参考方向一致,为关联参考方向时,如图 1-7(a)所示:

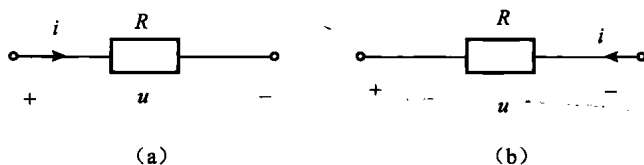


图 1-7 部分电路

(a) 关联参考方向; (b) 非关联参考方向

欧姆定律可表示为

$$u = Ri \quad (1-3-1)$$

式中 R 为导体两端电压 u 与导体中的电流 i 的比值,叫做导体的电阻,即

$$R = \frac{u}{i} \quad (1-3-2)$$

电阻的单位为欧姆(Ω),常用单位还有千欧(k Ω),兆欧(M Ω)。电阻反映了导体对电流的阻碍作用。

式(1-3-1)还可写为

$$i = \frac{u}{R} = G \cdot u \quad (1-3-3)$$

其中 G 为导体的电导,它反映导体对电流的导通作用,电导的单位为西门子(简称为 S)。如果导体两端的电压为 1 伏特,通过的电流为 1 安培,则该导体的电导为 1 西门子,或

其电阻为 1 欧姆。电阻表示导体对电流的阻碍作用,电导则说明导体的导电能力,分别反映了导体特性的两个方面。显然,同一导体的电阻与电导互为倒数,即

$$G = \frac{1}{R} \text{ 或 } R = \frac{1}{G}; \text{ 或 } G \cdot R = 1 \quad (1-3-4)$$

当 u 、 i 的参考方向不一致,为非关联参考方向时,如图 1-7(b) 所示,此时欧姆定律可表示为

$$u = -Ri \quad (1-3-5)$$

1.3.2 电阻元件

任何一个二端元件,如果在任一时刻,其 $u-i$ 特性曲线在 $u-i$ 平面中是一条过原点的曲线,则此二端元件就称为电阻元件,简称电阻。曲线上任一点的切线的斜率就是电阻工作在该点电压、电流下的电阻值。

电阻可以是线性的或非线性的,时变的或非时变的,如图 1-8(a) 为非时变线性的电阻的特性曲线,图 1-8(b) 为非时变非线性的电阻特性曲线,图 1-8(c) 为时变线性电阻的特性曲线,图 1-8(d) 为时变非线性的电阻特性曲线。由于本书主要研究线性电路,若没有特殊说明,今后提到的电阻都是指线性电阻元件,它的 $V-A$ 曲线就是过原点且位于第 I、III 象限的一条直线。

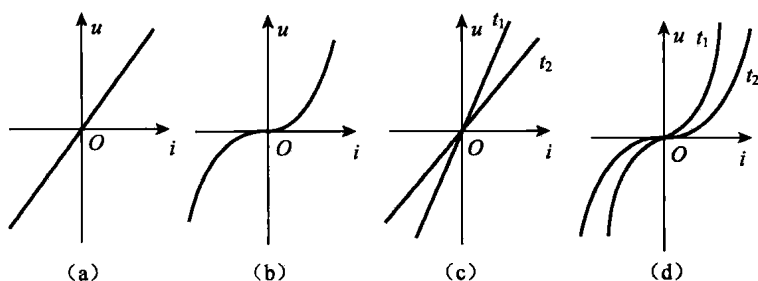


图 1-8 电阻的 $V-A$ 特性曲线

(a) 非时变线性; (b) 非时变非线性; (c) 时变线性; (d) 时变非线性

电阻的符号如图 1-9 所示。

由欧姆定律可得,电压电流参考方向关联时,电阻的伏安关系为

$$u = Ri \quad (1-3-6)$$

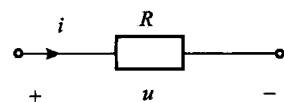


图 1-9 电阻元件

当电压和电流的参考方向非关联时,则电阻的伏安关系为:

$$u = -Ri \quad (1-3-7)$$

电阻的阻值可以从零到无穷大范围内的任意值,当电阻的值为零时,此时不管通过电阻的电流为多大,其端电压总是为零,称之为短路,此时电阻可以用一根理想导线替代。当电阻的值为无穷大时,此时不管电阻的端电压为多大,流过电阻的电流总是为零,称之为开路,此时电阻可以用断开替代。

当电阻的电压和电流参考方向相关联时,电阻的功率为

$$p = u \cdot i = R \cdot i^2 = \frac{u^2}{R} \quad (1-3-8)$$