

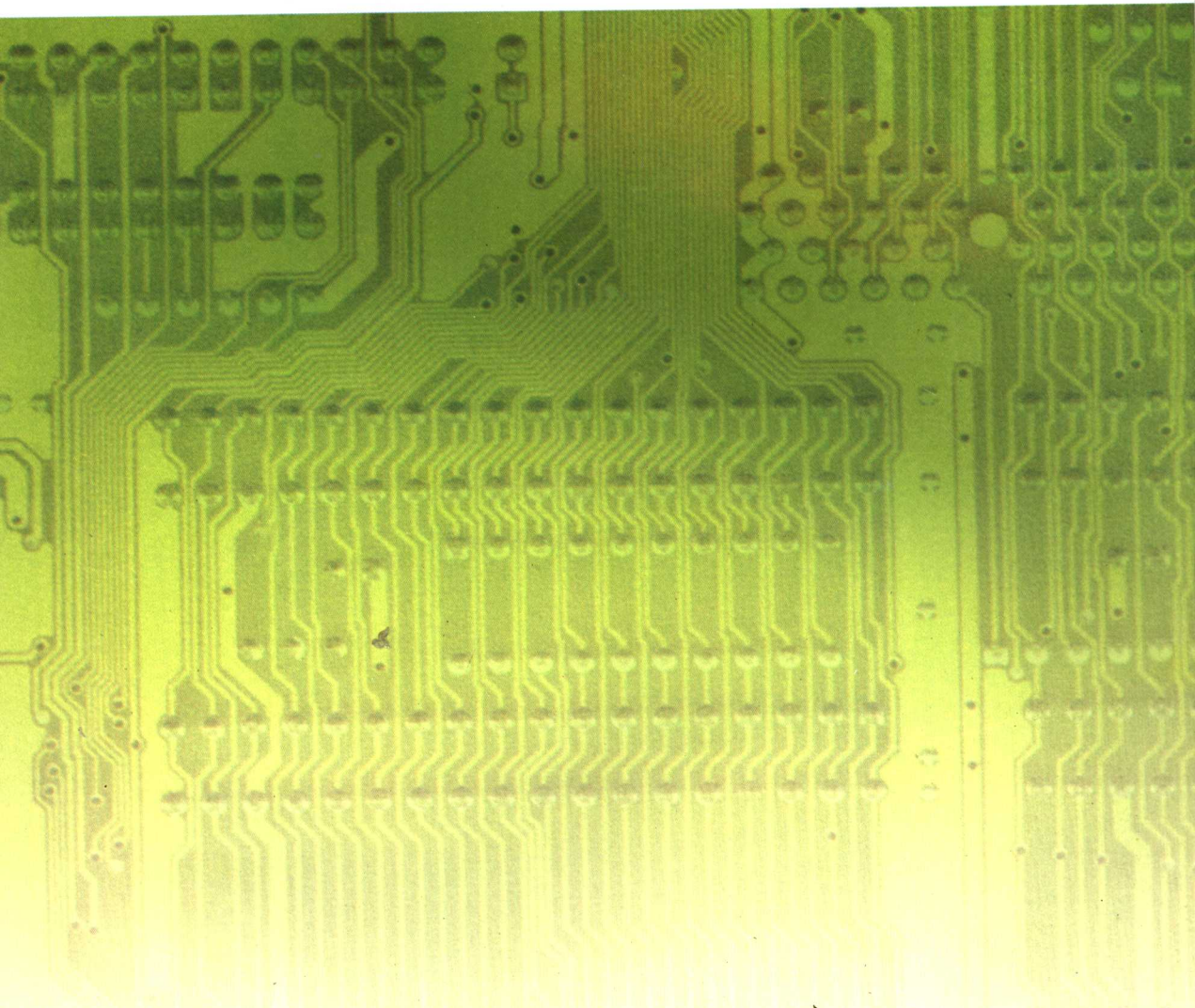


教育部职业教育与成人教育司推荐教材
高等职业教育应用电子技术专业系列教材

Diangong Jishu yu Shixun

电工技术与实训

主 编 邢江勇



武汉理工大学出版社
WUTP Wuhan University of Technology Press

教育部职业教育与成人教育司推荐教材
高等职业教育应用电子技术专业系列教材

电工技术与实训

主 编 邢江勇

副主编 成元学

主 审 张肇丰

武汉理工大学出版社

武汉

内 容 提 要

本书集理论教学、实验、实训教学为一体,分为电工技术与实训两个模块。第一模块有9章,内容包括电路的基本概念和定律、电工测量、电路的分析方法、单相正弦交流电路、三相交流电路、动态电路的分析、磁路与变压器、异步电动机、继电控制系统。每章都安排了实验项目并配有练习题,通过实验与练习,能使學生充分理解和牢固掌握电工技术的重要理论和定律,增加感性认识,有效培养学生的实验能力、逻辑思维能力、分析问题和解决问题能力。第二模块专为实训周所设,内容包括基本电工仪表的使用及测量误差的计算、电路元件的识别及特性的测绘、电源的等效变换、最大功率传输条件测定、RLC 串联谐振电路的研究、三相电路的功率测量、异步电动机 Y- Δ 降压启动控制、室内照明线路的安装、焊接基本技能实训、万用表的使用与安装。通过实训,强化学生的实验和动手能力训练,突出实践技能的培养,提高学生的职业素质。

本书可作为高等职业院校、专科学校、本科院校的二级职业技术学院、民办高校的工科类专业电工课程的教材,还可作为一般院校和培训机构进行电工考证的培训教材,也可供从事电工技术工作的工程技术人员参考和自学用书。

图书在版编目(CIP)数据

电工技术与实训/邢江勇主编. —武汉:武汉理工大学出版社,2006
教育部职业教育与成人教育司推荐教材
高等教育应用电子技术专业系列教材
ISBN 7-5629-2392-2

I. 电... II. 邢... III. 电工技术-高等学校-教材 IV. TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 059030 号

出版发行:武汉理工大学出版社(武汉市洪山区珞狮路 122 号 邮编 430070)

HTTP://www.techbook.com.cn 理工图书网

经 销 者:各地新华书店

印 刷 者:安陆市鼎鑫印务有限责任公司

开 本:787×960 1/16

印 张:21.25

字 数:417 千字

版 次:2006 年 8 月第 1 版

印 次:2006 年 8 月第 1 次印刷

印 数:1—3000 册

定 价:30.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请向出版社发行部调换。本社购书热线电话:(027)87397097 87394412

凡使用本教材的老师,可拨打(027)87385610 索取电子教案光盘或邮件包。

E-mail:duanchao@mail.whut.edu.cn



本教材是高等职业教育应用电子技术专业系列教材。为了适应目前高等职业教育改革与发展的需要,参照教育部最新制定的《高职高专教育电工技术课程教学基本要求》编写了此教材。也可供高等职业教育非电专业使用,教学时数为90~100学时。

在教材编写过程中坚持以应用能力为主线,精选教学内容,理论知识以必需、够用、实用为原则,加强基础教学,力求在体现新知识、新技术,减少数学推导方面下工夫。本书分为电工技术与实训两个模块。第一模块每章都安排了实验项目,通过实验可增加感性认识,理解和牢固掌握电工技术的重要理论和定律,有效培养学生的实验能力和动手能力,大部分章节配有阅读材料,可拓宽学生的知识面。在章节顺序上改变了传统的编排,把电工测量提前到第2章讲授,让学生能及早熟悉多种电工实验仪器、掌握电工测量方法,有利于促进和加强实验教学。为充分体现高等职业教育的培养目标,各校电工课程都安排了1~2周实训。第二模块专为实训周所设,强化学生的实验和动手能力训练,突出实践技能的培养,提高学生职业素质。

本教材结构合理,难度适中,覆盖面广。加强了教学的针对性,突出实用性,循序渐进,结构体例新颖,便于教师和学生使用。编写争取做到图文并茂,版面新颖,激发学生的学习兴趣。

本教材与时俱进,开拓创新,反映时代特色,面向经济建设和社会发展,适应就业市场的实际需要,有利于培养生产第一线技能型、应用型人才。做到与工程技术接口,加大电工新技术、新工艺、新产品介绍,强化学生的工程意识,有鲜明的专业特色,突出高职教育的特色和培养目标。

本教材集理论教学、实验、实训教学为一体,一书多用,理论与实际相结合,方便使用,解决了过去教材缺乏配套的实验、实训指导书及实验、实训指导书与教材不配套的问题。本教材也减轻了学生经济负担,体现了“以人为本”,实用性强。每章习题中计算题都给出了答案,考虑到第9章的内容学生平时接触较少,学习中困难较大,每道题均给出了详细解答。

本教材第1章、第3章、第4章、第7章、实训篇由南京交通职业技术学院邢

江勇编写;第2章、第8章由河南济源职业技术学院郭继红编写;第5章、第6章由山东日照职业技术学院成元学编写;第9章由沈阳广播电视大学林丽编写。全书由邢江勇担任主编,负责统稿。南京农业大学工学院张肇丰副教授任主审,对书稿进行了认真、负责、全面、细致地审阅,提出了许多宝贵的意见。编者在此表示衷心的感谢!

由于电力、电子技术的飞速发展,高等职业教育改革的深入,电工技术也在不断更新,以适应新的发展。鉴于编者水平有限,时间比较仓促,书中难免有错误与不妥之处,敬请读者批评指正,以便改进。

编者

2006年2月

目 录

1 电路的基本概念和基本定律	(1)
1.1 电路的基本概念	(1)
1.1.1 电路的组成	(1)
1.1.2 电路的作用	(3)
1.2 电路的基本物理量	(3)
1.2.1 电流	(3)
1.2.2 电位	(4)
1.2.3 电压	(5)
1.2.4 电动势	(6)
1.2.5 电阻	(7)
1.3 电路的欧姆定律	(10)
1.3.1 一段电路的欧姆定律	(10)
1.3.2 闭合电路的欧姆定律	(10)
1.4 电功率与电能	(12)
1.4.1 电功率	(12)
1.4.2 电能	(13)
1.4.3 电流的热效应	(13)
1.5 电路的工作状态	(15)
1.5.1 空载状态	(15)
1.5.2 短路状态	(15)
1.5.3 负载工作状态	(16)
1.6 电路的连接	(17)
1.6.1 电阻的串联	(17)
1.6.2 电阻的并联	(18)
1.6.3 电阻的混联	(19)
1.7 基尔霍夫定律	(20)
1.7.1 基尔霍夫电流定律	(21)
1.7.2 基尔霍夫电压定律	(22)
1.8 电路中电位的计算	(23)

实验	(24)
实验 1 基尔霍夫定律的验证	(24)
习题与思考题	(29)
2 电工测量	(32)
2.1 电工测量仪表的分类	(32)
2.2 万用表	(34)
2.2.1 磁电式万用表	(34)
2.2.2 数字式万用表	(35)
2.3 电流与电压的测量	(37)
2.3.1 电流的测量	(37)
2.3.2 电压的测量	(39)
2.4 功率的测量	(40)
2.4.1 单相交流和直流功率的测量	(40)
2.4.2 三相功率的测量	(42)
2.5 电度表及电能的测量	(43)
2.5.1 电度表及其接线方式	(43)
2.5.2 电能的测量	(45)
2.6 兆欧表的使用	(46)
2.6.1 兆欧表的工作原理	(46)
2.6.2 绝缘电阻的测量	(47)
实验	(48)
实验 2 电度表的接线、电能的测量	(48)
习题与思考题	(51)
3 电路的分析方法	(52)
3.1 电压源、电流源及其等效变换	(52)
3.1.1 电压源	(53)
3.1.2 电流源	(53)
3.1.3 实际电源两种模型的等效变换	(54)
3.2 支路电流法	(56)
3.3 节点电压法	(58)
3.4 叠加定理	(60)
3.5 等效电源定理	(61)
3.5.1 戴维南定理	(62)

3.5.2 诺顿定理.....	(63)
3.5.3 负载获得最大功率的条件.....	(65)
实验	(66)
实验3 叠加原理的验证	(66)
实验4 戴维南定理和诺顿定理的验证	(68)
习题与思考题	(72)
4 单相正弦交流电路.....	(76)
4.1 正弦交流电的基本概念.....	(77)
4.1.1 周期、频率、角频率.....	(77)
4.1.2 瞬时值、最大值、有效值.....	(78)
4.1.3 相位、初相位、相位差.....	(80)
4.2 正弦量的相量表示.....	(82)
4.2.1 复数及其运算.....	(82)
4.2.2 相量表示法.....	(84)
4.2.3 基尔霍夫定律的相量形式.....	(85)
4.3 正弦交流电路的电路元件.....	(86)
4.3.1 电阻元件.....	(87)
4.3.2 电感元件.....	(88)
4.3.3 电容元件.....	(91)
4.4 RLC 串联交流电路	(94)
4.5 阻抗的连接.....	(98)
4.5.1 阻抗的串联.....	(98)
4.5.2 阻抗的并联.....	(99)
4.5.3 阻抗的混联	(101)
4.6 功率因数的提高	(101)
4.6.1 提高功率因素的意义	(101)
4.6.2 提高功率因数的方法	(102)
4.7 电路的谐振	(104)
4.7.1 串联谐振	(104)
4.7.2 并联谐振	(107)
实验.....	(108)
实验5 日光灯电路及功率因数的提高	(108)
习题与思考题.....	(117)

5 三相正弦交流电路	(119)
5.1 三相交流电路的基本概念	(120)
5.2 三相电源的连接方式	(122)
5.2.1 三相电源的星形连接	(122)
5.2.2 三相电源的三角形连接	(124)
5.3 三相负载的连接方式	(126)
5.3.1 三相负载的星形连接	(126)
5.3.2 三相负载的三角形连接	(129)
5.4 三相电路的功率	(131)
5.5 安全用电	(132)
5.5.1 触电的有关知识	(132)
5.5.2 安全电压	(133)
5.5.3 触电事故的种类	(133)
5.5.4 常用的安全措施	(134)
实验	(135)
实验 6 三相交流电路电压、电流的测量	(135)
习题与思考题	(142)
6 动态电路的分析	(144)
6.1 动态电路及换路定律	(144)
6.1.1 动态电路的定义	(144)
6.1.2 换路定律	(146)
6.2 RC 电路的动态分析	(148)
6.2.1 RC 电路的放电过程	(148)
6.2.2 RC 电路的充电过程	(151)
6.3 RL 电路的动态分析	(155)
6.4 一阶电路的三要素法	(159)
6.5 微分电路与积分电路	(162)
6.5.1 微分电路	(162)
6.5.2 积分电路	(163)
实验	(164)
实验 7 一阶电路的响应测试	(164)
习题与思考题	(169)

7 磁路与变压器	(172)
7.1 磁路的基本性质	(173)
7.1.1 磁场的基本物理量	(173)
7.1.2 磁路	(175)
7.2 铁磁材料的性能	(176)
7.2.1 铁磁物质的磁化	(176)
7.2.2 磁化曲线	(177)
7.2.3 铁磁材料的分类	(178)
7.2.4 交流铁芯线圈的损耗	(179)
7.3 磁路的基本定律	(180)
7.3.1 安培环路定理	(180)
7.3.2 磁路欧姆定理	(181)
7.4 变压器	(183)
7.4.1 变压器的用途与结构	(183)
7.4.2 变压器的工作原理	(184)
7.4.3 三相变压器	(188)
7.5 变压器的运行特性	(190)
7.5.1 变压器的外特性和电压调整率	(190)
7.5.2 变压器的功率与效率	(191)
7.6 特殊变压器	(192)
7.6.1 自耦变压器	(192)
7.6.2 仪用互感器	(194)
7.6.3 电焊变压器	(196)
7.6.4 脉冲变压器	(196)
7.7 变压器的使用	(197)
7.7.1 变压器的额定值	(197)
7.7.2 变压器的选择	(198)
实验	(199)
实验 8 单相铁芯变压器特性的测试	(199)
本章小结	(203)
习题与思考题	(205)
8 异步电动机	(207)
8.1 三相异步电动机的基本结构和工作原理	(207)

8.1.1 三相异步电动机的基本结构	(207)
8.1.2 三相异步电动机的旋转磁场	(209)
8.1.3 异步电动机的转动原理	(213)
8.2 三相异步电动机的电磁转矩与机械特性	(214)
8.2.1 三相异步电动机的电磁转矩	(214)
8.2.2 三相异步电动机的机械特性	(215)
8.3 三相异步电动机的铭牌数据	(218)
8.4 三相异步电动机的使用	(221)
8.4.1 三相异步电动机的启动	(221)
8.4.2 三相异步电动机的调速	(226)
8.4.3 三相异步电动机的制动	(228)
8.5 单相异步电动机	(230)
8.5.1 单相异步电动机的结构	(230)
8.5.2 单相异步电动机的工作原理	(230)
8.5.3 单相异步电动机的启动	(232)
实验	(233)
实验9 三相笼型异步电动机的启动与反转	(233)
本章小结	(238)
习题与思考题	(240)
9 继电接触器控制系统	(242)
9.1 手动电器	(242)
9.1.1 闸刀开关	(242)
9.1.2 按钮	(243)
9.1.3 组合开关	(244)
9.2 自动电器	(245)
9.2.1 行程开关	(245)
9.2.2 自动空气断路器	(246)
9.2.3 熔断器	(246)
9.2.4 交流接触器	(247)
9.2.5 继电器	(249)
9.3 三相异步电动机的基本控制	(250)
9.3.1 电动机直接起停控制	(251)
9.3.2 异步电动机的点动控制	(252)
9.3.3 异步电动机的正反转控制	(253)

9.3.4 异步电动机的异地控制	(256)
实验	(257)
实验 10 三相异步电动机的正、反转控制	(257)
本章小结	(260)
习题与思考题	(261)
实训篇	(262)
绪论	(262)
实训 1 基本电工仪表的使用及测量误差的计算	(263)
实训 2 电路元件的识别及伏安特性的测绘	(268)
实训 3 电压源与电流源的等效变换	(272)
实训 4 最大功率传输条件测定	(275)
实训 5 RLC 串联谐振电路的研究	(278)
实训 6 三相电路功率的测量	(281)
实训 7 三相鼠笼式异步电动机 Y- Δ 降压启动控制	(285)
实训 8 荧光灯照明电路的安装训练	(289)
实训 9 焊接基本技能训练	(293)
实训 10 万用表的使用与安装	(307)
附录	(317)
附录 I 学时分配表	(317)
附录 II 常用电气图形符号	(318)
附录 III 电工仪表代表符号的含义	(320)
部分习题答案	(321)
参考文献	(328)

1 电路的基本概念和基本定律

【内容提要】

人们在日常生活、生产和科学研究中,广泛地应用着种类繁多的家用电器、电子仪器和设备、计算机网络等,它们中都有各种各样的电路。例如,照明电路、家用电器中的电路以及生产中的许多控制电路等。本章主要介绍直流电路的基本概念,基本定律,电路的工作状态及电功率、电能、电位的计算。这些内容是电工技术的重要理论基础,是学习交流电、变压器、电动机的原理和分析计算的基础。

【教学目的和要求】

- (1)知道电路的组成、作用和三种工作状态;
- (2)理解电流、电位、电压、电动势的物理概念及其参考方向的意义;
- (3)掌握串联电阻分压、并联电阻分流及混联电阻的计算方法;
- (4)熟练掌握欧姆定律、基尔霍夫定律;
- (5)熟练掌握电功率、电能、电位的计算。

【关键词】

电路(Circuit) 电流(Current) 电位(Electric potential) 电压(Voltage)
电动势(Electromotive force) 电阻(Resistance) 电功率(Power)
电能(Electric energy)

1.1 电路的基本概念

1.1.1 电路的组成

电源、电器、电路元件按照一定的方式连接起来,构成了电流的通路,称之为电路,也叫网络。实际电路的组成方式多种多样,但通常由电源(或信号源)、负载和中间环节三部分组成,如图 1.1 所示。

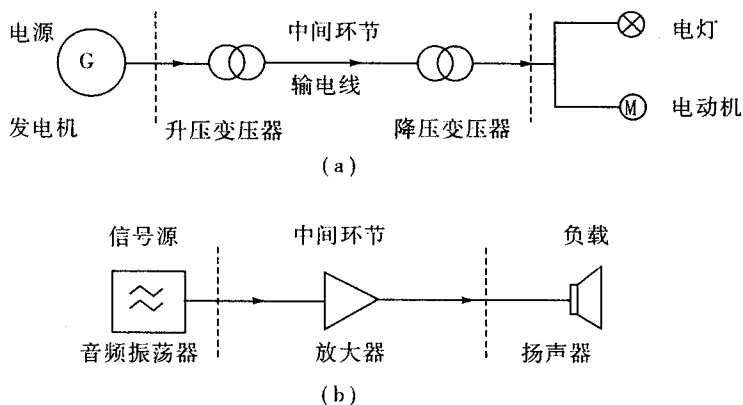


图 1.1 电路示意图

(a)电力系统;(b)扩音机

图 1.1(a)中发电机生产出的电能经变压器升压后向外输送,然后再经变压器降压分配给用户。图 1.1(b)中信号源产生的电信号通过中间的放大器放大后,传递到扬声器还原成声音。

(1) 电源

电源是指电路中供给电能的装置,如图 1.1(a)中的发电机 G 。电源的作用是将其他形式的能量转换为电能。如电池将化学能转换为电能;发电机将机械能转换为电能等,它们是推动电路中电流流动的原动力。提供电信号的设备和器件称为信号源,它相当于电源。

(2) 负载

负载是指用电设备,如电灯、电炉、电动机、扬声器等,它的作用是将电能转换为其他形式的能量。如电灯将电能转换为光能;电炉将电能转换为内能;电动机将电能转换为机械能;扬声器将电能转换为声能等。

(3) 中间环节

中间环节是连接电源和负载的部分,用来传输、分配、控制电能,处理信号。如变压器、输电线、放大器、开关等。

电路可分为内电路和外电路。对于电源来说,电源内部的电路称为内电路,负载和中间环节称为外电路。

在电工技术中,为了分析问题方便,可以将实际器件抽象成理想化的模型,用一些规定的图形符号表示实际器件,将实际电路用电路模型表示。例如,图 1.2(a)是手电筒的实际电路,其电路元件有干电池、灯泡、开关和导线;图 1.2(b)为其电路模型,干电池用电动势 E 表示,内电阻用 R_0 表示,灯泡用电阻 R 表示,开关用无接触电阻的理想开关 S 表示。由于金属导线的电阻相对于负载电

阻来说很小,一般可以忽略不计,即认为它是理想导线。

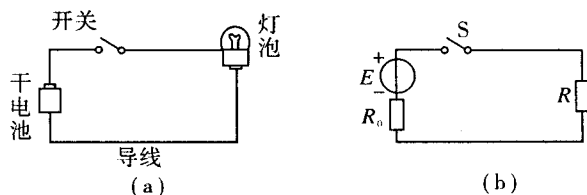


图 1.2 实际电路与电路模型

(a) 实际电路; (b) 电路模型

1.1.2 电路的作用

电路通常有两个作用:一是用来输送、分配和转换电能。例如,在电力系统中,发电厂的发电机组将内能、水能、核能等转换为电能,通过变压器、输电线等输送到工厂、农村、学校和千家万户,在那里电能又被转换为机械能和光能等。二是用来实现信息的传递和处理。例如,电视机接收天线把载有语言、音乐、图像信息的电磁波接收后转换为相应的电信号,而后通过电路将信号进行传递和处理,送到显像管和喇叭,将语言、音乐、图像信息再现出来。

无论电能的传输、分配和转换,还是信号的传递和处理,其中电源或信号源的电压、电流都称为激励,它驱动电路工作;在激励作用下,电路中某一元件上的电压或通过元件的电流称为响应。激励表示电源供给电路的能量,响应表示在电路某一元件上能量的应用。

所谓电路分析,就是在已知电路结构和元件参数的条件下,讨论电路的激励与响应之间的关系。

根据电路中使用的电源不同,电路可分为直流电路和交流电路。如果电路中电源电压是恒定不变的,该电路称为直流电路;如果电源电压随时间交替变化,称为交流电路。

1.2 电路的基本物理量

1.2.1 电流

在物理学中讲过,电荷(电子或离子)在电场力或其他外力(电磁力、化学力等)作用下,在电路中有规则地定向运动,形成了电流。电流的大小是用单位时

间内通过导体某一截面的电荷量量度的,称为电流强度,简称电流,用 i 表示。设在 dt 时间内,通过导体某一截面 S 的电荷量为 dq ,则电流为:

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1.1)$$

通常规定,正电荷的定向移动方向为电流的正方向,金属导体中自由电子定向移动方向与电流的方向相反。如果 $\frac{dq}{dt} = \text{常数}$,即大小和方向都不随时间变化的电流称为恒定电流,简称直流,常用大写的字母 I 表示。电流 I 与电荷量 q 的关系式为:

$$I = \frac{q}{t} \quad (1.2)$$

式中 q 是在时间 t 内通过导体横截面 S 的电量。

在国际单位制(SI)中,电流的单位为 A(安培),简称安,即每秒内通过导体截面的电量为 1C(库仑)时,则电流为 1A。在计量较小的电流时,电流强度的单位是 mA(毫安)和 μA (微安)。它们的关系为:

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

把大小和方向都随时间周期性变化且在一周期内平均值为零的电流称为交流电流,简称交流。生活和生产中使用的电流就是正弦交流电流。周期性变化,但在一个周期内的平均值不等于零的电流称为脉动电流。电子技术中常用的脉冲控制信号就是脉动电流。

在分析、计算较复杂电路时,开始往往难以判断电路中电流的实际方向。通常可以事先任意选定某一方向作为电流的正方向(也称参考方向),把电流看成代数量进行计算。如果计算后该电流值为正值,说明电流的实际方向与参考方向相同;反之,电流值为负值,则电流的实际方向与参考方向相反。如图 1.3 所示。

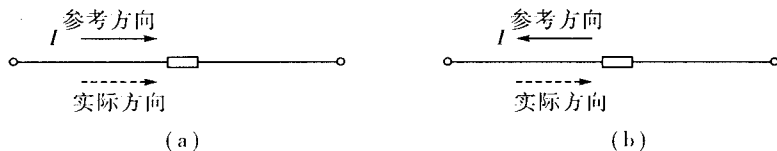


图 1.3 电流的参考方向与实际方向

(a) $I > 0$; (b) $I < 0$

1.2.2 电位

电荷在电场或电路中具有一定的能量,电场力将单位正电荷从某一点 A 沿

任意路径移到参考点所做的功称为该点的电位或电势。即：

$$U_A = \frac{W}{q} \quad (1.3)$$

就像人们以海平面作为衡量物体所处高度的参考点一样,计算电位也必须有一个参考点才能确定它的具体数值。参考点的电位一般规定为零,高于参考点的电位为正,低于参考点的电位为负。

参考点是可以任意选定的,但一经选定之后,各点电位的计算即以该点为准。如果换一个参考点,则各点电位就不同,即电位随参考点的选择而异。因此,在电路分析中不指明参考点而讨论电位是没有意义的。在电工技术中通常以大地作为参考点。有些用电设备为了使用安全,将机壳与大地相连,称为接地。

电路中电位相等的点称为等电位点。等电位点的各点之间虽然没有直接相连,但若用导线或电阻元件将等电位点连接起来,其中不会有电流流过,也不会影响原来的电路工作状态。

1.2.3 电压

电路中某两点间的电位之差称为电压。例如 A、B 两点的电位分别为 U_A 、 U_B ,则两点之间的电压为:

$$U_{AB} = U_A - U_B \quad (1.4)$$

在直流电路中,电场力把电荷 q 从 A 点移到 B 点所做的功为:

$$W_{AB} = qU_{AB} = q(U_A - U_B) \quad (1.5)$$

在国际单位制中,电势、电压的单位是 V(伏特),简称伏。电场力将 1C 正电荷从 A 点移到 B 点所做的功为 1 J(焦耳)时,A、B 两点之间的电压为 1V。电压的单位还有 μV 、mV 和 kV。它们的关系为:

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

与电流一样,电压也分为直流电压和交流电压。电压的实际方向为高电位点指向低电位点,所以电压又称为电压降,简称压降。在分析与计算电路时,电压与电流一样选定参考方向。在元件或电路两端用“+”、“-”表示电压参考方向,“+”号表示参考高电位端,“-”号表示参考低电位端。在选定参考方向下,电压的参考方向与实际方向相同时,电压值为正;电压的参考方向与实际方向相反时,电压值为负。如图 1.4 所示。电压的实际方向是客观存在的,不会因电压的参考方向不同而改变。

电流参考方向的选定与电压参考方向的选定是独立无关的。但为方便起见,对于一段电路或一个电路元件,如果选定电流参考方向与电压参考方向一致