



21世纪高等学校计算机学科系列教材

电路与电子技术

(上册·电路原理)

张纪成 主编

魏永继 张兴会 副主编

李大友 主审

全国高等学校计算机教育研究会
课程与教材建设委员会推荐出版



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

21 世纪高等学校计算机学科系列教材

电路与电子技术 (上册·电路原理)

张纪成 主编

魏永继 张兴会 副主编

李大友 主审

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书是在《高等教育面向 21 世纪教学内容与课程体系改革研究》的基础上编写的,是 21 世纪计算机学科的一门技术基础课教材,也是高等学校规划教材。本书根据社会发展对计算机专业人才的知识结构需求,对电路原理和电子技术内容进行认真研究,突出概念,突出应用,突出新技术和新产品。全书分为上、中、下三册,上册为电路原理部分,中册为模拟电子技术部分,下册为数字电子技术部分。本册内容包括:电路的基本概念与定律,电路一般分析方法,正弦交流电路,非正弦周期量电路分析,动态电路分析,含有耦合电感和理想变压器电路,共 6 章。本书内容简洁,语言流畅,通俗易懂,重点突出,保证基础,立足应用。每章有丰富的例题和习题,各章前有概述、后有小结,书后有部分习题答案。

本书是为计算机专业本科生编写的教材,也适合作为电子、电气、自动化、通信、机电一体化等专业本科生、大专生及成人教育多学时的教材或参考书,还可供工程技术人员自学使用。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

电路与电子技术(上册·电路原理)/张纪成主编. —北京:电子工业出版社,2002.7

21 世纪高等学校计算机学科系列教材

ISBN 7-5053-7736-1

I. 电… II. 张… III. ①电路理论—高等学校—教材 ②电子技术—高等学校—教材 IV. ①TM13②TN01

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 043634 号

责任编辑:刘文杰 特约编辑:王银彪

印 刷:北京牛山世兴印刷厂

出版发行:电子工业出版社 <http://www.phei.com.cn>

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

经 销:各地新华书店

开 本:787×1092 1/16 印张:15 字数:384 千字

版 次:2002 年 7 月第 1 版 2002 年 7 月第 1 次印刷

印 数:6 000 册 定价:20.00 元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系。
联系电话:(010)68279077

序 言

这套教材是面向 21 世纪计算机学科系列教材。为什么要组织这套教材？根据什么编写这套教材？这些都是在这篇序言中要回答的问题。

计算机学科是一个飞速发展的学科，尤其是近十年来，计算机向高度集成化、网络化和多媒体化发展的速度一日千里。但是，从另一个方面来看，目前高等学校的计算机教育，特别是教材建设，远远落后于现实的需要。现在的教材主要是根据《教学计划 1993》的要求组织编写的。这个教学计划，在制定过程中主要参照了美国 IEEE 和 ACM 的《教学计划 1991》。

10 年来，计算机学科已有了长足发展，这就要求高等学校计算机教育必须跟上形势发展的需要，在课程建设和教材建设上做出相应调整，以适应面向 21 世纪计算机教育的要求。这是组织这套教材的初衷。

为了组织好这套教材，全国高等学校计算机教育研究会课程与教材建设委员会在天津召开了“全国高等学校计算机学科课程与教材建设研讨会”，在北京召开了“教材编写大纲研讨会”。在这两次会议上，代表们深入地研讨了全国高校计算机专业教学指导委员会和中国计算机学会教育委员会制定的《计算机学科教学计划 2000》以及美国 IEEE 和 ACM 的《计算机学科教学计划 2001》，这是这套教材参照的主要依据。

IEEE 和 ACM 的《计算机学科教学计划 2001》是在总结了从《计算机学科教学计划 1991》到现在，计算机学科十年来发展的主要成果的基础上诞生的。它认为面向 21 世纪计算机学科应包括 14 个主科目：算法与分析(AL)、体系结构(AR)、离散结构(DS)、计算科学(CN)、图形学、可视化、多媒体(GR)、网络计算(NC)、人机交互(HC)、信息管理(IM)、智能系统(IS)、操作系统(OS)、程序设计基础(PF)、程序设计语言(PL)、软件工程(SE)、社会、道德、法律和专业问题(SP)。其中除 CN 和 GR 为非核心主科目外，其他 12 项均为核心主科目。

将 2001 教学计划与 1991 教学计划比较可看出：

(1) 在 1991 年计划中，离散结构只作为数学基础提出，而在 2001 计划中，则作为核心主科目提出，显然，提高了它在计算机学科中的地位。

(2) 在 1991 计划中，未提及网络计算，而在 2001 计划中，则作为核心主科目提出，以适应网络技术飞速发展的需求。

(3) 图形学、可视化与多媒体也是为适应发展要求新增加的内容。

除此之外，2001 计划在下述 5 个方面做调整：

将程序设计语言引论调整为程序设计基础，将人-机通信调整为人机交互，将人工智能与机器人学调整为智能系统，将数据库与信息检索调整为信息管理，将数值与符号计算调整为计算科学。

显然，这些变化使 2001 计划更具有科学性，也更好地适应了学科发展的需要。

在组织这套教材的过程中，充分考虑了这些变化和调整，在软件和硬件的课程体系、界面划分方面均做了相应的调整，使整套教材更具有科学性和实用性。

另外，还要说明一点，教材建设既要满足必修课的要求，又要满足限选课和任选课的要求。因此，教材应按系列组织，反映整个计算机学科的要求，采用大拼盘结构，以适应各校不同的具

体教学计划,使学校可根据自己的需求进行选择。

这套教材包括:《微机应用基础》、《离散数学》、《电路与电子技术》、《电路与电子技术习题与实验指南》、《数字逻辑与数字系统》、《计算机组成原理》、《微型计算机接口技术》、《计算机体系结构》、《计算机网络》、《计算机网络实验教程》、《通信原理》、《计算机网络管理及系统开发》、《网络信息系统集成》、《多媒体技术》、《计算机图形学》、《计算机维护技术》、《数据结构》、《计算机算法设计与分析》、《计算机数值分析》、《汇编语言程序设计》、《Pascal 语言程序设计》、《VB 程序设计》、《C 语言程序设计》、《C + + 语言程序设计》、《Java 语言程序设计》、《操作系统原理》、《UNIX 操作系统原理与应用》、《Linux 操作系统》、《软件工程》、《数据库系统原理》、《编译原理》、《编译方法》、《人工智能》、《计算机信息安全》、《计算机图像处理》、《人机交互》、《计算机伦理学》。对于 IEEE 和 ACM 的《计算机学科教学计划 2001》中提出的 14 个主科目,这套系列教材均涵盖,能够满足不同层次院校、不同教学计划的要求。

这套系列教材由全国高等学校计算机教育研究会课程与教材建设委员会主任李大友教授精心策划和组织。编者均为具有丰富教学实践经验的专家和教授。所编教材体系结构严谨、层次清晰、概念准确、论理充分、理论联系实际、深入浅出、通俗易懂。

教材组织过程中,得到了哈尔滨工业大学蒋宗礼教授,西安交通大学董渭清副教授,武汉大学张焕国教授,吉林大学张长海教授,福州大学王晓东教授,太原理工大学余雪丽教授等的大力支持和帮助,在此一并表示衷心感谢。

李大友

2000 年 6 月

前 言

本书是根据2000年3月ACM和IEEE/SC联合专题组发表的《Computing Curricula 2000》报告,并结合我国高等院校计算机本科教学的实际情况编写的。它是21世纪计算机学科的一门技术基础课教材,也是高等学校规划教材。其内容是在《高等教育面向21世纪教学内容与课程体系改革研究》的基础上确定的。

本书除具有计算机专业所设《电路与电子技术》课程全部基本内容外,还充分考虑到培养21世纪人才所必须具备的基础扎实、知识面宽、能力强和素质高的特点。为此,我们注意了以下几点。

(1)重点突出基本理论、基本知识和基本技能的内容,了解电子技术发展概况,为学习计算机学科后续课程及从事有关工程技术、科学研究打好理论和实践基础。

(2)为了适应教学内容和课程体系改革研究,本教材分成上、中、下册。其中,上册为电路原理部分;中册为模拟电子技术部分;下册为数字电子技术部分。计算机及相关专业可根据教学计划选用。

(3)为了反映现代电子技术的新成果、新技术和新发展,本教材加强了模拟集成电路、大规模集成电路、数字逻辑与数字系统的内容介绍,并且有由现场片PROM,PLA,PAL,GAL到门阵列片FPGA以及在系统编程ISP的用户片。随着集成电路和教学内容的更新换代和发展,即使数字系统的设计发生重大变化,上述内容也会为有关课程的教学体系、教学内容和人才培养奠定必要的基础。

(4)突出电子技术应用知识,重点介绍常用集成电路芯片的功能和使用方法,为计算机后续有关课程打下应用基础,如谐振、有源滤波、数/模、模/数转换器等。

(5)为便于教与学,每章配有多种类型的例题和习题。例题是为巩固基本概念、基础知识、扩充基本内容所用,多数不用讲述,学生可以自学理解。各章习题有为加强理解基本内容的基本习题,也有为加深理解基本理论、基本概念,起到举一反三之功效的较难习题。除此之外,还有接近实际的应用习题,以便开拓视野,掌握实际应用知识。同时,部分习题配有答案。每章前面有概述,后面有小结,以便于学生加深理解、掌握本章主要内容及主要概念。

本书由天津师范大学张纪成担任主编,魏永继、张兴会担任副主编。张纪成编写上册第1,2,5,6章,中册第1,2章(部分),下册第7,8(部分)章及全书统稿工作;李冰编写上册第3,4章,中册第2章(部分),4章;张兴会编写中册第3章,下册第7(部分)章及部分统稿工作;李燕荣编写下册第1,2,3,4,5,6章;魏永继编写中册第2(部分)章,5章,下册第9章及部分统稿工作;许景春编写上册第2(部分)章,第5(部分)章。

北京工业大学李大友教授担任主审并对编写大纲及编写内容给予指导和关心。在编写过程中,得到天津师范大学计算机系马希荣副教授、天津职业技术师范学院计算机系刘光然副教授、赵洁副教授等的支持与帮助,在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平和知识的局限性,加上时间仓促,谬误之处在所难免,希望广大读者提出宝贵意见,以便修改和提高。

编 者
2002年2月

目 录

第 1 章 电路的基本概念与定律	(1)
1.1 电路的组成与模型	(1)
1.1.1 实际电路	(1)
1.1.2 理想电路	(1)
1.2 电路中常用的物理量	(2)
1.2.1 电荷和电流	(2)
1.2.2 电压和电位	(3)
1.2.3 电动势	(5)
1.2.4 功率	(6)
1.3 欧姆定律	(7)
1.4 电压源与电流源	(8)
1.4.1 电压源	(9)
1.4.2 电流源	(9)
1.4.3 受控源	(11)
1.5 电路的开路、短路及有载工作状态	(11)
1.5.1 开路	(12)
1.5.2 短路	(12)
1.5.3 有载工作状态	(13)
1.6 基尔霍夫定律	(13)
1.6.1 基尔霍夫电流定律	(14)
1.6.2 基尔霍夫电压定律	(15)
1.7 简单电路分析与计算	(16)
本章小结	(18)
习题 1	(18)
第 2 章 电路一般分析方法	(22)
2.1 等效电路分析	(22)
2.1.1 电阻的串并联与等效二端网络	(22)
2.1.2 电阻星形连接与三角形连接的等效变换	(25)
2.1.3 电压源与电流源的串并联	(27)
2.1.4 戴维南与诺顿等效电路	(28)
2.2 电路的基本分析方法	(31)
2.2.1 支路电流法	(31)
2.2.2 网孔分析法	(32)
2.2.3 节点电压分析法	(36)

2.3	网络定理	(42)
2.3.1	叠加定理	(42)
2.3.2	戴维南定理	(48)
2.3.3	诺顿定理	(54)
2.3.4	最大功率传输定理	(58)
2.4	含有受控源电路分析方法	(59)
2.5	非线性电阻电路分析方法	(63)
2.5.1	非线性电阻元件	(63)
2.5.2	分析方法	(65)
	本章小结	(70)
	习题2	(72)
第3章	正弦交流电路	(79)
3.1	正弦电压与电流	(79)
3.1.1	频率与周期	(79)
3.1.2	幅值与有效值	(80)
3.1.3	相位与初相位	(81)
3.2	正弦量的相量表示法	(82)
3.3	电阻、电容与电感元件	(85)
3.3.1	电阻元件	(85)
3.3.2	电容元件	(86)
3.3.3	电感元件	(87)
3.4	电阻、电容与电感元件的交流电路	(89)
3.4.1	电阻元件的交流电路	(89)
3.4.2	电容元件的交流电路	(90)
3.4.3	电感元件的交流电路	(93)
3.5	电阻、电容与电感元件串联交流电路	(94)
3.6	阻抗的串并联与混联交流电路	(98)
3.6.1	阻抗串联的交流电路	(98)
3.6.2	阻抗并联的交流电路	(99)
3.6.3	阻抗混联的交流电路	(100)
3.7	正弦交流电路的功率	(103)
3.8	正弦交流电路的频率特性	(105)
3.8.1	RC串联电路的频率特性	(105)
3.8.2	串联谐振	(107)
3.8.3	并联谐振	(111)
3.9	功率因数的提高	(113)
3.10	三相正弦交流电路	(114)
3.10.1	三相电源	(114)
3.10.2	三相负载的星形连接	(117)
3.10.3	三相负载的三角形连接	(118)

3.10.4 三相功率	(120)
本章小结	(121)
习题3	(123)
第4章 非正弦周期量电路分析	(129)
4.1 非正弦周期量的分解	(129)
4.2 非正弦周期量的有效值与平均值	(132)
4.3 非正弦周期电流的线性电路计算	(134)
4.4 非正弦周期电流电路的平均功率	(137)
本章小结	(139)
习题4	(140)
第5章 动态电路分析	(143)
5.1 动态元件	(143)
5.1.1 概述	(143)
5.1.2 动态元件的有关特性	(144)
5.1.3 动态元件的串、并联电路	(145)
5.1.4 换路定则和初始值的确定	(148)
5.2 零输入响应	(149)
5.2.1 RC 电路的零输入响应	(150)
5.2.2 RL 电路的零输入响应	(154)
5.3 零状态响应	(158)
5.3.1 RC 电路的零状态响应	(158)
5.3.2 RL 电路的零状态响应	(161)
5.4 一阶电路完全响应	(164)
5.4.1 RC 电路一阶完全响应	(164)
5.4.2 RL 电路一阶完全响应	(168)
5.5 一阶线性电路动态分析的三要素法	(170)
5.6 阶跃函数与阶跃响应	(176)
5.6.1 阶跃函数	(176)
5.6.2 延时阶跃函数	(177)
5.6.3 阶跃响应	(177)
5.7 微分与积分电路	(180)
5.7.1 微分电路	(180)
5.7.2 积分电路	(182)
5.8 RLC 电路的响应分析	(183)
5.8.1 RLC 电路的零输入响应——过阻尼	(183)
5.8.2 RLC 电路的零输入响应——临界阻尼	(186)
5.8.3 RLC 电路的零输入响应——欠阻尼	(186)
5.8.4 RLC 电路的零输入响应——无阻尼等幅振荡	(188)
5.9 GCL 并联电路的零输入响应	(190)
本章小结	(192)

习题5	(193)
第6章 含有耦合电感和理想变压器电路	(199)
6.1 耦合电感	(199)
6.2 耦合电感线圈的连接	(202)
6.2.1 串接	(202)
6.2.2 并接	(204)
6.2.3 一端相连	(206)
6.3 空心变压器电路分析	(208)
6.4 理想变压器	(211)
6.5 理想变压器折合阻抗	(214)
6.6 实际变压器与模型电路	(217)
本章小结	(221)
习题6	(222)
部分习题答案	(226)

第 1 章 电路的基本概念与定律

本章主要介绍分析电路时常用的物理量及电路的基本定律,以便于后续章节的学习。

1.1 电路的组成与模型

1.1.1 实际电路

完成各种特定任务的电路中常常含有电源和电阻器、电容器、电感器及半导体等元器件。根据不同的要求将它们组合连接起来,形成电流的通路,称为电路。

电路的种类繁多,诸如日常的照明、电炉发热、电机转动、计算机中的数据及程序的存储和自动控制中的闭环系统等,都是用导线把电源和电气设备连接起来所构成的电路。不论电路多么复杂,形式如何变化,电路都是由一些最基本的部分组成的,如图 1.1 所示。

由图 1.1 可见,电路是由电源、负载及中间环节组成。其中:

电源:在电路中用干电池示意代表,表示电路的能源,其本质是将其他形式的能量转换成电能。如干电池是将化学能转变成电能,发电机是将机械能转变成电能,光电池是将光能转换成电能等。

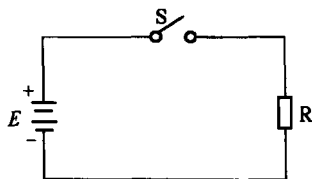


图 1.1 电路组成

负载:取用电的设备,它能将电能转换成其他形式的能量。如手电筒中的灯泡,将电能转换成光能。直流电路中的负载 R 主要是电阻性的,它将电能转换成热能。

中间环节:由电路中的导线和控制电路通断的开关 S 组成。用它们将电源及负载连接起来,构成电流的通路。为了保证电路安全,中间环节也常包含电器保护装置。

上述的电源、负载、中间环节也是组成电路的三要素。所以说,电路是由电源、负载及中间环节等组成的总体,它是电流的闭合通路。

1.1.2 理想电路

组成电路的实际部件在工作过程中都与电磁现象有关,如电阻器及呈现电阻性的各种用电器,它们对电流呈现阻力,消耗电能。当电流流过时,其周围产生磁场,因而具有电感性质。各种电感线圈具有存储磁场能量的性质,但是由于线圈导线多少总有点电阻,因而兼有电阻的性质。各种电容具有存储电场能量的性质,也有电阻的次要性质,甚至还有电感性质。各种电源其内部总有一定量的内阻,不可能总保持不变的恒定电压。即使导线也总有些电阻,甚至还有电感性质等。因此,实际部件的电磁性质很难用数学式加以描述。若不分主次把实际部件的次要性质也一起考虑,使问题变得相当复杂,给分析带来较大的难度。为此,在一定条件下,常常把实际部件加以理想化,忽略次要性质,用表达各种部件主要性质的模型加以表示,以便于对电路进行分析、计算。就是说,模型是由理想化元件构成的。理想化元件性质单纯,可以用数学

式精确描述。在后面的电路分析中所涉及的各种元件都是理想化的。

理想化元件可以用数学式加以精确描述,它能够方便地建立描述电路模型的数学关系式,从而掌握电路的特性。图 1.1 所示的电路就是电路模型。

理想化电路模型是从实际电路中抽象出来的。更确切地说,研究电路及分析电路的对象是电路模型,它在理论研究及工程实践中获得广泛的应用。通过电路模型的分析,可以预测实际电路的特性,以便设计更优化的电路。但是,电路模型只能近似地反映实际电路的特性,经过不断修改模型,可以使之接近于实际电路特性。

1.2 电路中常用的物理量

1.2.1 电荷和电流

1. 电荷

根据原子理论,物质是由原子组成的,原子又是由原子核和围绕原子核高速运动的电子组成。原子中的质子带正电荷,中子不带电荷,电子带负电荷。正常情况下,电子的负电荷与质子的正电荷平衡,原子呈中性。

带电粒子所带的电荷数称为电量或电荷量。电荷单位是库仑,国际单位用 C 表示。1 个库仑的电量等于 6.24×10^{18} 个电子所带的电量。

2. 电流

金属中的原子,其最外层的电子受原子核的吸引力较小,容易从原子中挣脱出来,成为自由电子,在金属内部做不规则自由运动。在电场的作用下,自由电子沿着电场力相反方向运动,从而形成电流。金属中有大量电子,它是良性导体。由此可见,电流是电荷(或带电粒子)在外电场的作用下,做有规则移动形成的。

在数量上衡量电流大小是用电流强度表示。电流强度简称电流,用 I 或 i 表示。电流强度是指在单位时间内通过导体横截面的电荷量。如果电流是随时间而变化的,则可用微变量表示,电流强度是电荷对时间的变化率,即

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

其中,电荷量 q 的单位是库仑(C);电流单位是安培(A);时间单位是秒(s)。安培是国际单位制(SI)中的基本单位之一。在 1 秒钟内,通过导体横截面的电荷量为 1 库仑时,电流为 1 安培。

如果电流的大小和方向不随时间变化,称为恒定电流,简称电流,用 I 表示。电流单位除用安培(A)表示外,小电流可用毫安(mA)、微安(μ A)作为单位,它们之间的关系是

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

3. 电流方向

电流的大小可以用电流强度衡量,那么电流的方向如何确定呢?物理学中有关电流方向的规定是适用的,即历史上把正电荷运动方向作为电流方向。如一段金属导体中,自由电子在电场力的作用下,由 B 向 A 端运动,效果上与等量正电荷自 A 向 B 运动是相同的。因此,导体中从 A 向 B 是电流的实际方向。但是在电路中,常常难以判定电流的真实方向。为了分析和计算电路,需要引入一个重要的概念——参考方向,即假设的电流正方向。

在一般电路中,电流可能有两种不同的方向,任选一种作为标准或作为参考方向。当实际

的电流方向与它相同时,电流是正值;相反时,电流是负值,如图 1.2 所示。图中用实线箭头表示选定的正方向,即参考方向;虚线箭头表示该电路中电流的真实方向。其中,图 1.2(a)表示电流真实方向与参考方向一致,电流 I 为正值;图 1.2(b)表示电流真实方向与参考方向相反,电流 I 为负值。

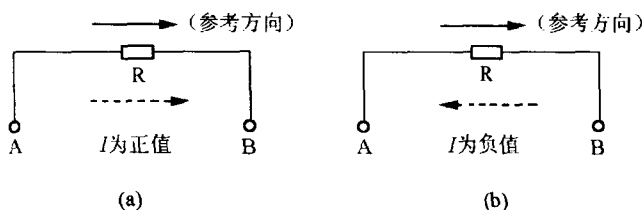


图 1.2 电流的参考方向

由此可见,在求解电路时,首先任意假定一个参考电流方向,并在图上表示出来;然后,再根据已经假定的参考方向分析计算,计算结果的正负值,连同假设的参考方向一起用于判断电流的实际方向。必须注意,不标出电流的参考方向,谈论电流的正负是没有意义的。一旦确定参考方向,不要在电路中再更改。

1.2.2 电压和电位

1. 电压

金属导体在外加电场的作用下,电场力迫使自由电子做定向运动而形成电流,在此过程中,电场力移动电荷做功。为了衡量电场力做功的本领,引入一个物理量——电压,这是电路中的又一基本物理量。

所谓电压是指电场力把单位正电荷从 A 点移到 B 点所做的功,称为 A, B 两点之间的电压,即

$$u = \frac{d\omega}{dq} \quad (1-2)$$

电压用符号 u 或 U 表示。电荷从 A 点移到 B 点,写成 u_{AB} 或 U_{AB} 。A 端为正, B 端为负,表明是电压降,其值为“+”;反之,写成 u_{BA} 或 U_{BA} ,其值为“-”。

在国际单位制(SI)中,电荷单位是库仑(C);功的单位是焦耳(J);电压单位是伏特(V)或千伏(kV)、毫伏(mV)和微伏(μ V)。

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

不随时间变化的电压是直流电压,用 U 表示。若电压写成 u ,则表示是交流电压。

2. 电位

物理学中电位称为电势,表示电场中某一点性质的物理量,它是相对参考点而言。电场中某点 A 的电位,在数值上等于电场力将单位正电荷自该点沿任意路径移动到参考点所做的功,用 U_A 表示。可见,电场中某点的电位就是该点到参考点间的电压。

电位的单位是伏特(V),与电压单位相同。通常规定参考点的电位为零,所以参考点又叫零电位点。参考点的确定是非常重要的,因为电位是相对的物理量,不确定参考点,讨论电位是没有意义的。在同一电路中,选择不同的参考点,对同一点的电位是不同的。因此,物理学中常常选择无限远处或大地作为参考点。大地容纳电荷的能力很大,电位稳定,不会因为局部电荷的变化而影响大地电位值,所以选择大地为零电位。而电路中,常常把若干支路交汇点或者机

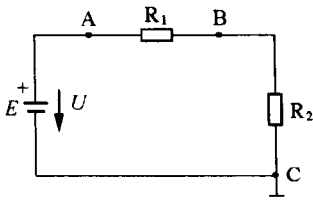


图 1.3 电压与电位

壳作为电位的参考点。但是参考点一经确定,其余各点电位也就确定了,不能再改动,而且各点电位值是惟一的,具有单值性。

引入电位概念后,应该注意电位与电压之间的区别。电路中两点的电压是两点的电位之差。如图 1.3 所示电路中,A,B 两点电位分别为 U_A 和 U_B ,都以 C 点为参考点,A,B 两点间电压是

$$U_{AB} = U_A - U_B$$

因此,电压又称为电位差,电压或电位差与参考点的选择无关。

3. 电压的参考极性

电压及电位都是描述电场力对电荷做功能力的物理量,它们与能量密切相关。在电路中,正电荷从某点移动到另一点或是吸收能量或是消耗能量。因此,有必要引入电压的参考极性的概念。

电路中,正电荷从 A 点移动到 B 点,电场力做功。表明电路是吸收能量的,正电荷在 A 点比 B 点时具有更高的能量,A 点是高电位,B 点是低电位。规定电压的实际方向是高电位点指向低电位点的,正电荷沿着这个方向,将失去能量。若正电荷通过元件失去能量,则该元件吸收(或消耗)能量,它把电能转换成其他形式能量,如热能或光能等。若正电荷通过元件时得到(或消耗)能量,则该元件产生(或释放)能量。该元件能够将其他形式能量,如化学能或机械能转换成电能。

分析电路时,常常难以事先判断元件两端真实电压极性。因此,在分析电路时事先要为电压假设参考极性,用“+”、“-”号表示,如图 1.4(a)所示;也可以用箭头由高电位指向低电位,如图 1.4(b)所示;或者写出脚标 U_{AB} ,表示 A 点电位高,B 点电位低。三种表示方法通用,可任选一种。

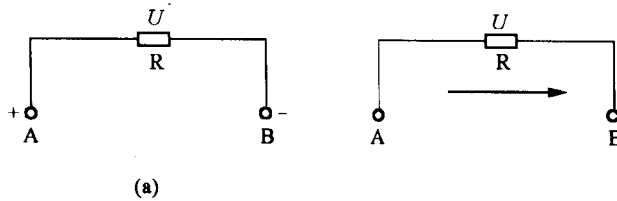


图 1.4 电压的参考极性

电压的参考极性可以任意假设,一旦确定就按假设极性进行计算。算出的结果为正值,说明电压的真实极性与假设的参考极性相同,否则电压极性与真实极性相反。同理,研究电路时不标出电压的参考极性,谈论电压的正负是没有意义的。根据前面叙述,分析电路时,电流和电压都要假设参考方向或参考极性,互不相关,任意假设。为了分析方便,常常采用关联的参考方向,即把元件上电压参考极性与电流参考方向取得一致。如图 1.5(a)所示,电流从电压的“+”

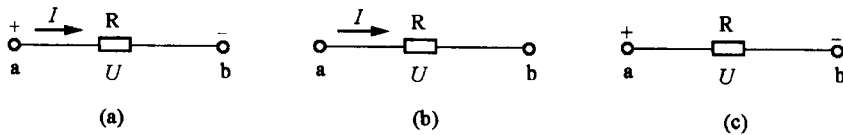


图 1.5 关联的参考极性与参考方向

极性流入。关联的参考极性与参考方向也可以用图 1.5(b)和图 1.5(c)表示。

【例 1.1】 如图 1.6 所示,算出 a,b 间的电压,其中 $R_1=R_2=2\Omega, I=1\text{A}$ 。

解:图(a), $U_{ab} = -(U_b - U_a) = -U_{ba} = -110\text{V}$

图(b), $U_{ab} = IR_1 + IR_2 = 1 \times 2 + 1 \times 2 = 4\text{V}$

【例 1.2】 试说明图 1.7(a), (b), (c)所示电路中:
(a)电流实际方向与电压实际的极性; (b)讨论是关联还是非关联?

解:图(a), 电流的实际方向由 a→b; 电压的实际极性 a 端为“+”, b 端为“-”; 电压与电流为相关联。

图(b), 电流的实际方向由 b→a; 电压的实际极性 a 端为“-”, b 端为“+”; 电压与电流为相关联。

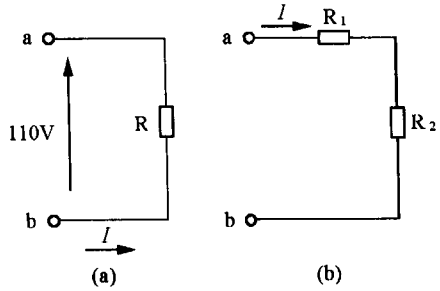


图 1.6 例 1.1 图

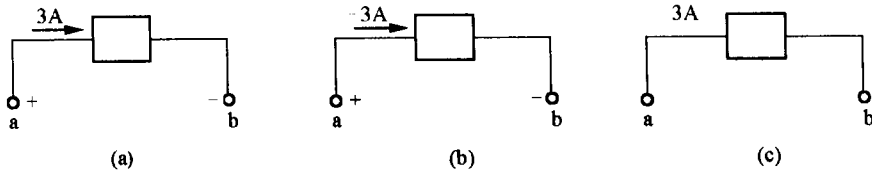


图 1.7 例 1.2 图

图(c), 电流的实际方向不能确定; 电压实际极性不能确定; 电压参考极性与电流参考方向是否关联不能确定。

1.2.3 电动势

图 1.8 中示出一个闭合电路, 正电荷总是从电源 E 的正极流出, 最后流到电源负极, 电场力对电荷做了功。为了使电流 I 流动, 正电荷从电源 E 的负极经过电源内部移动到电源正极。否则正电荷在电源负极逐渐增多, 电位逐渐升高, 使电源正负极电位差减小到零, 电路中的电流 I 等于零。因此, 电源内部存在着一种非电场力, 如电池内部因化学作用而产生的化学力; 发电机内部因电磁感应而产生的电磁力。这种非电场力称为局外力或电源力。这种力能够使正电荷由电源的负极移到正极, 从而把电源其他形式的能量转换成电能。可见, 在电源内部, 正电荷从低电位到高电位, 电源力做功; 在电源外部, 正电荷从高电位流向低电位, 电场力做功。为了表征电源内部电源力对正电荷做功的本领, 引入了电动势概念。电动势在数值上等于电源力把单位正电荷从负极经电源内部移到正极时所做的功。

电动势的单位是伏特(V)。

图 1.9(a)中是一般直流电源符号, 用 E 表示, 正、负极分别用“+”和“-”号标出, 其电动势方向如图中箭头所示。

电动势与电压是两个不同的概念。它们既可以用正负极之间的电动势表示, 也可以用其间的电压表示, 但要注意两者的区别。图 1.9(b)中, 电动势 E 与电压 U_{AB} 表示同一电源; A 点电位比 B 点电位高, 所以 $E=U_{AB}$ 。许多情况下, 常常用一个与电源的电动势大小相等、方向相反的电压等效表示电动势对外电路的作用效果。

【例 1.3】 试用图 1.10 给定的极性, 求解电动势与电压之间的表达式。

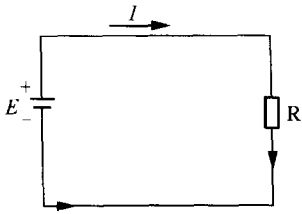


图 1.8 电动势电路

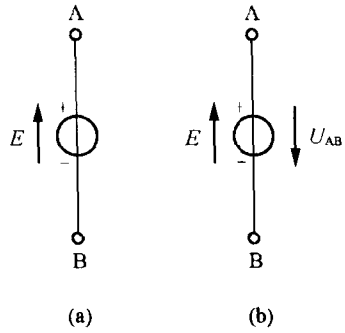


图 1.9 电动势符号

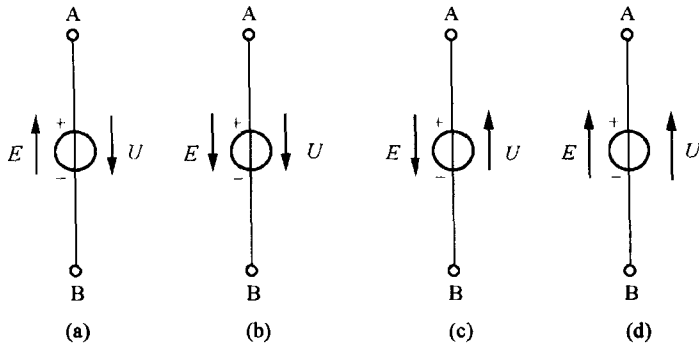


图 1.10 例 1.3 图

解: 图(a), $E=U$; 图(b), $-E=U$; 图(c), $-E=-U$; 图(d), $E=-U$ 。

1.2.4 功率

电路的基本功能之一是实现能量的传输,所以常用到功率这个物理量。

电路中有的元件吸收电能并转换成其他形式的能量,有的元件是将其他形式能量转换成电能,即元件向电路提供电能。单位时间内某段电路所吸收或放出的能量称为该段电路的功率,即

$$P = \frac{dw}{dt} \quad (1-3)$$

若 dw 为吸收的能量,则称这段电路是吸收功率;若 dw 为释放的能量,则称这段电路是释放功率。

一个二端网络所吸收的功率与端电压、电流的关系为

$$P = \frac{dw}{dt} = \frac{dw}{dq} \times \frac{dq}{dt} = ui \quad (1-4)$$

在国际单位制(SI)中,功率用瓦特(W)表示,1瓦特等于1伏安,也可以用千瓦(kW)、毫瓦(mW)表示。

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

在电压和电流为关联参考方向下,式(1.4)得出的功率 $P>0$ 或 $p>0$,该元件为吸收功率;若 $P<0$ 或 $p<0$,该元件为产生功率。当电压和电流为非关联参考方向时,则计算功率的公式为

$$p = -ui \quad (1-5)$$

$$P = -UI \quad (1-6)$$

计算结果:若 $p > 0$ 或 $P > 0$ 为吸收功率; $P < 0$ 或 $p < 0$ 为产生功率。

【例 1.4】如图 1.11 所示,计算图中电路元件功率,说明是产生功率还是吸收功率。

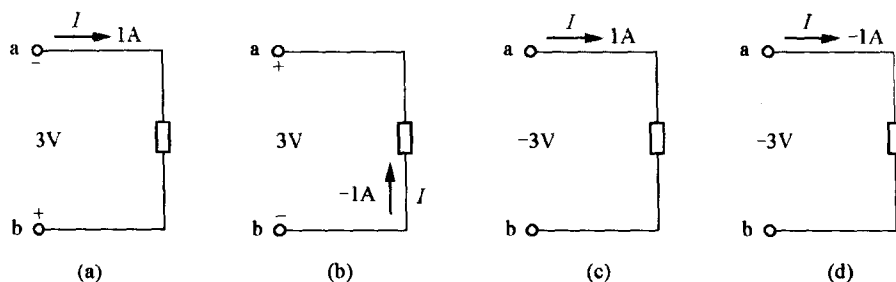


图 1.11 例 1.4 图

解:图(a),电压与电流为非关联方向

$$P = -UI = -3 \times 1 = -3 \text{ W (产生功率)}$$

图(b),电压与电流为非关联方向

$$P = -UI = -3 \times (-1) = 3 \text{ W (吸收功率)}$$

图(c),电压与电流为关联方向

$$P = UI = (-3) \times 1 = -3 \text{ W (产生功率)}$$

图(d),电压与电流为关联方向

$$P = UI = (-3) \times (-1) = 3 \text{ W (吸收功率)}$$

1.3 欧姆定律

电阻元件是电路的基本元件之一。它是从实际元件中抽象出来的模型,在电路中对电流呈现阻力。

欧姆定律是电路的基本定律之一,表示通过电阻的电流与电阻两端电压成正比的关系。可以用下式表示为

$$R = \frac{U}{I} \quad \text{或} \quad U = IR \quad (1-7)$$

式中 R 是电路中的电阻。式(1.7)是电压 U 和电流 I 在关联方向下的关系式。若电压与电流的方向是非关联时,则应为

$$R = -\frac{U}{I} \quad \text{或} \quad U = -IR \quad (1-8)$$

在国际单位制(SI)中,电阻的单位是欧姆(Ω),即当电路两端的电压为 1V,通过的电流为 1A 时,该电路的电阻为 1Ω 。阻值较高时可用千欧($k\Omega$)、兆欧($M\Omega$)为单位。

电阻元件或电阻值与本身材料性质及几何尺寸有关,还与外界温度有关。

电阻元件的特性可以用另一参数加以表示,即电导 G 。它表示元件传导电流的能力。

电导与电阻的关系是