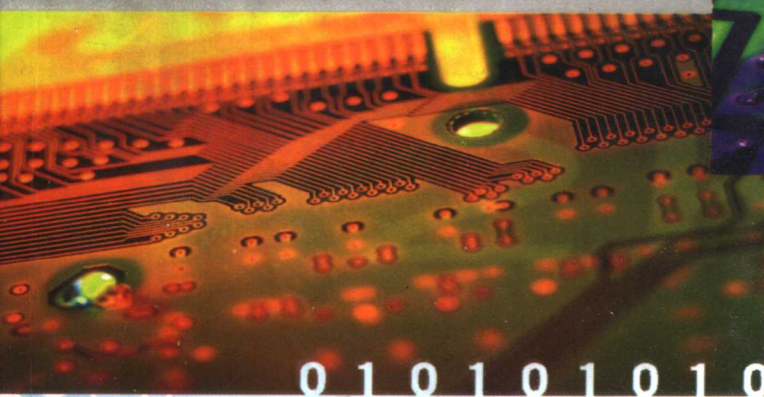
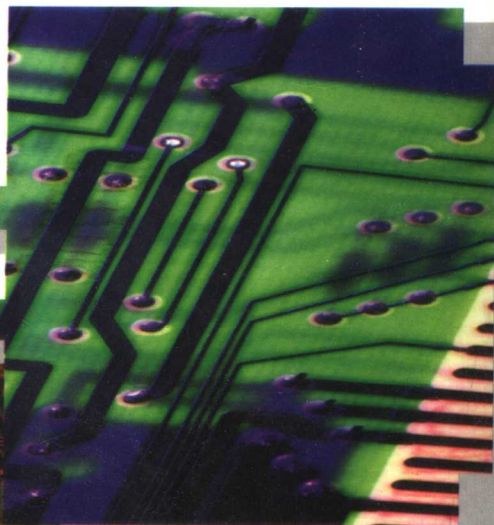


计算机电路课程设计和应用研究项目

计算机电路教程

主 编 钱 琦
副主编 郑 晓
侯 宁



0 1 0 1 0 1 0 1 0

Computer
Circuit



附赠光盘

东南大学出版社

计算机电路课程设计和应用研究项目

计算机电路教程

编 著 钱 琦
副主编 郑 晓 侯 宁

东南大学出版社

内 容 提 要

本书主要介绍计算机应用专业所需的电路和电子技术方面的知识。全书共分11章,其中:第1~5章为电路理论部分,第6~11章为数字电子技术部分。为便于读者自学,本书配有学习指导书及学习光盘。本书重点突出了基本概念、基本理论和综合能力的培养训练。本书可作为计算机应用专业专科学生使用,也可作为高职和相关专业的教材,亦可以作为从事电工技术等相关专业技术工程人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

计算机电路教程/钱琦主编. —南京:东南大学出版社,
2003.7

ISBN 7-81089-086-7

I.计... II.钱... III.电子计算机—电子电路—
教材 IV.TP312

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 041355 号

东南大学出版社出版发行
(南京四牌楼2号 邮编 210096)
出版人:宋增民
江苏省新华书店经销 南京京新印刷厂印刷
开本: B₅ 印张: 18.5 字数: 363 千字
2003 年 8 月第 1 版 2003 年 8 月第 1 次印刷
印数: 1—11000 册 定价: 34.00 元

(凡因印装质量问题,可直接向发行科调换。电话:025-3795801)



前言

这是一本供计算机应用专业学生学习“计算机电路”课程的教材。编写的宗旨是为本专业学生学习后续课程提供必备知识和技术基础。编写内容力求反映本课程的最新理论和最新技能。力求达到概念清楚,重点突出,通俗易懂。本教材配有一定量的例题和习题,便于同学们理论联系实际,有利于提高分析和解决问题的能力,为将来独立从事计算机应用专业技术工作奠定良好的基础。

本教材内容分为两大模块。第一部分,电路基础模块。主要内容包括:电路的基本概念和基本定律、电路的基本定理和基本分析方法、正弦交流电路、正弦交流电路的频率响应及谐振、电路中的动态过程等。第二部分,数字电路模块。主要内容包括:电子电路的基本知识、门电路及组合逻辑电路、触发器、时序逻辑电路、半导体存储器等。

本教材配有光盘。它是根据文字教材而专门设计制作的一套综合型多媒体课件。主要包括两大部分:(1) 助学型学习系统。采用灵活的人机交互操作,以多种方式表述教学内容,并按教学规律,有序地逐层展开,指导学生理解教学中的重点和难点,调动学生学习的积极性和主动性,提高效率。(2) 实验仿真系统。主要用于本课程实验,让学生上机操作演练,提高学生的实验技能,并可减轻指导教师的工作量,节约实验经费。本软件创意独特、系统交互性强、界面设计新颖、操作简单方便,使用灵活可靠。

参加本教材编写工作的有:钱琦(第1、2、6章)、郑晓(第8、9、10章)、侯宁(第4、5章)、李巧鸣(第3、7章)、陶玉鸿(第11章),全书由钱琦总纂定稿。

参加多媒体课件光盘制作的有:钱琦、郑晓、侯宁、杨勇、毛万年、井辉、胡荣星、姜春艳、许恒、田文娟和王炫等。

本教材由东南大学无线电工程系袁易全教授审阅,并提出了许多宝贵的修改意见,谨致以深深的谢意。

在本教材编写过程中,得到了许乐平、陈为、李娅、桂昌宁、田舒和郭倩等老师的热心相助,以及北京掌宇金仪科教仪器设备有限公司的大力支持,特致以衷心感谢。

由于编者水平所限,编写时间仓促,疏漏和错误之处在所难免,恳请读者提出宝贵意见,以便不断修改、充实、完善。

编者

2003年5月于南京

目 录

1 电路的基本概念和基本定律	(1)
1.1 电路组成和电路模型	(2)
1.1.1 电路的组成	(2)
1.1.2 电路模型	(2)
1.1.3 网络的概念	(3)
1.2 电路中的基本物理量	(3)
1.2.1 电流	(3)
1.2.2 电压	(4)
1.2.3 功率和能量	(6)
1.3 电阻元件	(8)
1.3.1 欧姆定律	(8)
1.3.2 电导	(9)
1.3.3 线性电阻元件的功率	(9)
1.4 电压源和电流源	(10)
1.4.1 电压源	(10)
1.4.2 电流源	(11)
1.5 电路的状态	(13)
1.5.1 开路状态	(13)
1.5.2 短路状态	(13)
1.5.3 任载工作状态及额定工作状态	(14)
1.6 受控源	(15)
1.7 基尔霍夫定律	(16)
1.7.1 名词术语	(16)
1.7.2 基尔霍夫电流定律(英文缩写 KCL)	(17)
1.7.3 基尔霍夫电压定律(英文缩写 KVL)	(17)
1.8 电路中各节点电位的计算	(19)
习 题	(20)
2 电路的基本分析方法和基本定理	(23)
2.1 电路等效的概念	(24)

2.1.1 二端网络等效的概念	(24)
2.1.2 无源二端网络的等效	(24)
2.1.3 有源二端网络的等效	(25)
2.2 电阻及电源的等效变换	(25)
2.2.1 电阻的串联	(25)
2.2.2 电阻的并联	(26)
2.2.3 电压源的串联	(26)
2.2.4 电流源的并联	(27)
2.2.5 电压源与电流源及电阻并联、电流源与电压源及电阻串联时的等效	(28)
2.2.6 实际电压源与实际电流源的等效变换	(29)
2.3 支路电流法	(30)
2.4 网孔分析法	(33)
2.4.1 网孔分析法的基本思路	(33)
2.4.2 网孔方程的一般形式	(34)
2.5 节点分析法	(35)
2.5.1 节点分析法的基本思路	(35)
2.5.2 节点方程的一般形式	(36)
2.6 叠加定理	(37)
2.7 戴维南定理和诺顿定理	(38)
2.7.1 戴维南定理	(38)
2.7.2 诺顿定理	(41)
2.8 最大功率传输定理	(43)
习 题	(44)
3 正弦交流电路	(47)
3.1 正弦交流电的特征及有关概念	(48)
3.1.1 正弦交流电及其三要素	(48)
3.1.2 同频率正弦交流量的相位差	(49)
3.1.3 正弦交流量的有效值	(51)
3.2 正弦量的相量表示及相量分析法	(52)
3.2.1 复数的表示	(53)
3.2.2 复数的运算	(55)
3.2.3 相量和相量分析法	(56)
3.2.4 基尔霍夫定律的相量形式	(58)
3.3 单一参数的正弦交流电路	(59)

R 、 L 、 C 元件伏安关系及其相量形式	(59)
3.4 混联正弦交流电路	(64)
3.4.1 阻抗、导纳及欧姆定律的相量形式	(65)
3.4.2 混联正弦交流电路的相量解法	(67)
3.5 正弦交流电路的功率及功率因数	(69)
3.5.1 正弦交流电路的功率	(69)
3.5.2 提高功率因数的方法	(73)
习 题	(74)
4 正弦交流电路的频率响应及谐振	(78)
4.1 频率响应的概念	(79)
4.2 一阶 RC 电路的频率响应	(82)
4.2.1 低通电路	(82)
4.2.2 高通电路	(83)
4.3 RLC 电路的频率响应及谐振	(86)
4.4 正弦交流电路的串联、并联谐振	(89)
4.4.1 RLC 串联谐振	(89)
4.4.2 RLC 并联谐振	(91)
习 题	(93)
5 电路中的动态过程	(95)
5.1 动态电路的概述	(96)
5.2 换路定律及电路量初始值的计算	(96)
5.2.1 换路及换路定律	(96)
5.2.2 电路量初始值的计算	(97)
5.3 一阶电路的动态响应	(99)
5.3.1 一阶电路的零输入响应	(99)
5.3.2 一阶电路的零状态响应	(105)
5.3.3 一阶电路的完全响应	(110)
5.4 电路动态过程的三要素分析法	(113)
习 题	(116)
6 电子电路基本知识	(121)
6.1 概述	(122)
6.1.1 本征半导体	(122)
6.1.2 杂质半导体	(123)
6.1.3 PN 结	(123)

6.1.4 PN 结的单向导电性	(124)
6.2 半导体二极管	(126)
6.2.1 二极管的符号、类型和特点	(126)
6.2.2 二极管的伏安特性及主要参数	(126)
6.2.3 二极管的应用	(127)
6.2.4 几种常用的特殊二极管	(127)
6.3 晶体三极管	(128)
6.3.1 三极管的结构、符号和特点	(128)
6.3.2 三极管的放大工作原理	(129)
6.3.3 三极管电路的特性曲线及三个工作区	(130)
6.4 场效应晶体管	(132)
6.4.1 N 沟道增强型场效应管	(132)
6.4.2 其他类型 MOS 管	(133)
6.4.3 绝缘栅场效应管的主要特点	(133)
6.5 逻辑代数及其运算	(134)
6.5.1 数的进制	(134)
6.5.2 码制	(137)
6.5.3 逻辑变量与逻辑函数	(138)
6.6 逻辑代数的基本定律和基本规则	(140)
6.6.1 基本公式	(140)
6.6.2 若干常用公式	(141)
6.6.3 逻辑代数的基本运算规则	(142)
6.7 逻辑函数的化简	(144)
6.7.1 逻辑函数的几种常见最简表达式	(144)
6.7.2 逻辑函数的公式化简方法	(145)
6.7.3 逻辑函数的卡诺图化简法	(146)
6.7.4 具有约束项的逻辑函数及其化简方法	(152)
习 题	(153)
7 集成逻辑门电路及组合逻辑电路	(156)
7.1 概述	(157)
7.1.1 门电路的概念	(157)
7.1.2 分立元件的门电路和集成门电路	(157)
7.1.3 组合逻辑电路	(157)
7.1.4 集成电路的特点	(157)
7.2 常用的逻辑门电路	(158)

7.2.1 三种基本的逻辑门电路	(158)
7.2.2 常见的复合逻辑门电路	(161)
7.3 TTL 集成门电路	(164)
7.3.1 TTL 与非门	(165)
7.3.2 TTL 集电极开路门和三态门	(168)
7.4 CMOS 集成门电路	(170)
7.4.1 CMOS 反相器	(170)
7.4.2 CMOS 传输门	(172)
7.4.3 CMOS 三态门	(173)
7.4.4 其他 CMOS 门电路	(173)
7.4.5 集成门电路的使用及其相互间连接问题	(174)
7.5 组合逻辑电路的分析与设计	(175)
7.5.1 组合逻辑电路的分析	(175)
7.5.2 组合逻辑电路的设计	(177)
7.5.3 常用组合逻辑电路	(179)
7.6 常用中规模集成组合逻辑电路的应用	(190)
7.6.1 常用中规模集成数据选择器设计函数发生器	(190)
7.6.2 常用中规模集成二进制译码器设计组合电路	(193)
7.6.3 常用中规模集成四位全加器设计组合电路	(196)
习 题	(196)
8 触发器	(200)
8.1 概述	(201)
8.2 基本 RS 触发器	(201)
8.2.1 由或非门构成的基本 RS 触发器	(201)
8.2.2 由与非门构成的基本 RS 触发器	(205)
8.3 同步触发器	(207)
8.3.1 同步 RS 触发器	(207)
8.3.2 同步 D 触发器(D 锁存器)	(209)
8.4 主从触发器	(210)
8.4.1 主从 RS 触发器	(210)
8.4.2 主从 JK 触发器	(212)
8.5 边沿触发器	(214)
8.5.1 边沿 D 触发器	(214)
8.5.2 边沿 JK 触发器	(217)
8.5.3 边沿 T 触发器	(217)

习 题	(220)
9 时序逻辑电路	(222)
9.1 概述	(223)
9.1.1 时序逻辑电路的特点	(223)
9.1.2 同步时序逻辑电路与异步时序逻辑电路	(224)
9.1.3 同步时序逻辑电路的分析方法	(224)
9.2 计数器	(226)
9.2.1 计数器电路的种类	(226)
9.2.2 同步二进制加法计数器	(227)
9.2.3 同步二进制可逆计数器	(234)
9.2.4 同步十进制加法计数器	(235)
9.2.5 构成任意进制计数器的方法	(238)
9.2.6 计数器的应用	(238)
9.3 寄存器和移位寄存器	(239)
9.3.1 寄存器	(239)
9.3.2 移位寄存器	(240)
9.3.3 移位寄存器型计数器	(242)
习 题	(244)
10 脉冲波形的产生与整形	(253)
10.1 矩形脉冲的性能参数	(254)
10.2 矩形脉冲的获得及其相应电路	(255)
10.2.1 获得矩形脉冲的两种途径	(255)
10.2.2 施密特触发器、单稳态触发器和多谐振荡器	(255)
10.3 555 定时器及其应用	(257)
10.3.1 555 定时器	(257)
10.3.2 555 定时器构成的三种典型电路	(259)
习 题	(263)
11 半导体存储器	(266)
11.1 概述	(267)
11.2 只读存储器	(268)
11.2.1 掩膜只读存储器	(268)
11.2.2 可一次编程的只读存储器(PROM)	(271)
11.2.3 可编程只读存储器	(271)
11.2.4 ROM 的应用	(271)

11.3 随机存储器 RAM	(273)
11.3.1 RAM 的结构及读写原理	(273)
11.3.2 RAM 中的存储单元	(274)
11.3.3 存储器容量的扩展	(275)
习 题	(277)
常用逻辑符号对照表	(280)
参考文献	(283)

电路的基本概念和基本定律

电能作为人们生产和生活中不可缺少的能源,在社会各个领域起着越来越巨大的作用。电能从生产、传输到应用,都离不开电路。没有电路,电能无法传输,信号无法发射、接收,用电设备无法正常工作,所以,电路对电能的应用十分重要。

电路的种类繁多,变化复杂,功能也各不相同。不同的电路作用各不相同。从功能来看,电路可分为两大部分:一是能量的产生和处理;二是信号的产生和处理。要完成这两部分功能,需要各种不同的电路来实现。但不管是简单的电路,还是复杂的电路,它们之间都存在着最基本的共性,即电路的基本作用是完成电能与其他能量的转换。

电路有着内在的规律和外部特性,要认识它,必须对它进行研究、分析和综合,并将结果上升到理论。电路理论就是研究电路内、外规律的一门学科,它包括电路分析和电路综合两个部分。电路分析是指已知电路的结构和参数,求解电路各部分电压和电流等参量。电路综合是指已知给定激励响应,求相应的电路结构和参数。

本章主要介绍电路的基本概念,电压、电流的参考方向,电路的基本元件和基本定律。



1.1 电路组成和电路模型

1.1.1 电路的组成

什么是电路呢?让我们先来观察一下手电筒的电路结构,它是由灯泡、外壳、开关和电池等几部分组成的,这些元件经过组装可构成一个简单的实际电路,如图 1.1.1 所示。

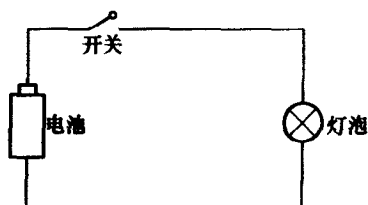


图 1.1.1 手电筒的电路结构

手电筒的外壳相当于导线,它把开关、灯泡和电池连在一起,电池供给电能,灯泡是用电设备。当合上开关后,灯泡就会发光,构成一个闭合的电流通路。由这个例子知道,电路是由电路元件以一定方式连接起来的有电流流过的闭合整体。一个电路主要由电源、负载和中间环节等组成。电源是电路中提供电能的装置,常见的电源有干电池、蓄电池、光电池和发电机等。负载,用电设备称为负载,它是消耗电能的元件,并将电能转换成其他能量。中间环节是指联接设备用的导线和开关、保险丝等辅助设备。

1.1.2 电路模型

由于电路复杂多变,构成电路的各种元件也是多种多样的。在分析、研究电路时,不可能、也没有必要将实际元件组成的电路直接拿来分析。同时,从组成电路的元件特性来看,有些元件在电路中会出现复杂多变的电场和磁场特性,对于这些次要的、并不影响电路主要性质的因素,如果将它们全部考虑进去,会给分析带来不便,有时还会使电路的分析十分繁琐,难以进行。所以,在电路理论中分析、讨论的对象并不是实际电路,而是电路模型。所谓电路模型是指由理想元件和理想导线组成的电路。理想元件是指将组成电路的基本元件加以近似化、理想化的元件。理想导线是指没有电阻,也没有电容、电感等的导线。

理想元件都可用数学公式来精确定义,且有自己特定的图形符号和字母。常见的理想元件有电阻元件、电容元件和电感元件等,它们分别用字母 R 、 C 、 L 表示,

三种基本理想元件的图形符号如图 1.1.2 所示。

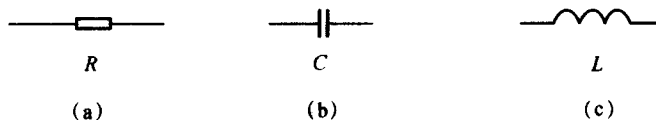


图 1.1.2 三种理想元件的电路符号

应该指出的是:不同的实际元件,可以用同一个理想元件来表示,如白炽灯、电炉、电烙铁等电热器都可以用电阻元件来表示。

1.1.3 网络的概念

在电路分析中,常把复杂的大型电路称为网络。在许多情况下,网络和电路是同一个概念。根据结构不同,网络可分为:二端网络、三端网络和四端网络等。二端网络是指只有两个端钮与外部电路联接的电路;三端网络是指有三个端钮与外部电路联接的电路;四端网络,一般也称为双口网络,是指有两个二端端钮与外部电路联接的电路。若用 N 表示网络,二端网络可表示为图 1.1.3 所示。

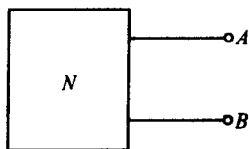


图 1.1.3 二端网络电路图

1.2 电路中的基本物理量

电路的基本作用是进行能量交换,在分析电路时,必须用一些基本物理量来表示电路这种能量交换。这些物理量主要有电流、电压、功率和能量等。

1.2.1 电流

1. 电流的定义

电流是电路中的基本物理量,它定义为单位时间内通过导体横截面的电荷量,它的大小可以用电流强度来表示。

电流强度简称电流,用 $i(t)$ 表示。即

$$i(t) = \frac{dq}{dt} \quad (1.2.1)$$

式(1.2.1)表明:电流强度是电荷 q 对时间 t 的变化率。

电流也可用 I 表示,一般情况下,大写字母 I 表示不随时间变化的电流,如直流电流。小写字母 $i(t)$ 表示为一般的电流,包括随时间变化的电流和直流电流。

在国际单位制中,电流的单位是安,用字母 A 表示。电荷量的单位是库(C),时间的单位是秒(s)。

在电路中,有时为了计算方便,电流常常用一些较小的辅助单位,如毫安(mA)、微安(μA)等。它们的关系是

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

2. 电流的参考方向

对于电流的方向,我们规定正电荷运动的方向为电流的方向。但在实际的电路中,由于电路的复杂性,我们很难判断正电荷向哪个方向移动,为方便电路的分析和计算,电路理论中引入了电流参考方向这个概念。

所谓电流的参考方向,是指电路中假定的电流方向。它是一种人为指定的,为方便分析、计算电路而引入的一种方向。

在这种电流参考方向下,若经分析、计算,得到某段电路的电流 i 值为正,则表示该段电路中电流的真实方向与电流的参考方向一致;反之,若得到的电流 i 值为负,则表示该段电路中电流的真实方向与电流的参考方向相反。需要注意的是:电流的参考方向在分析电路时的标注是任意的,但一经标出,则在整个分析、计算过程中就必须统一,不能任意变动。

【例 1.2.1】 试分别指出图 1.2.1(a)、(b)、(c) 中电流的真实方向。

解 图 1.2.1 中电流的真实方向分别为:图(a)由 a 经 R 至 b ;图(b)由 b 经 R 至 a ;图(c)由 a 经 R 至 b 。

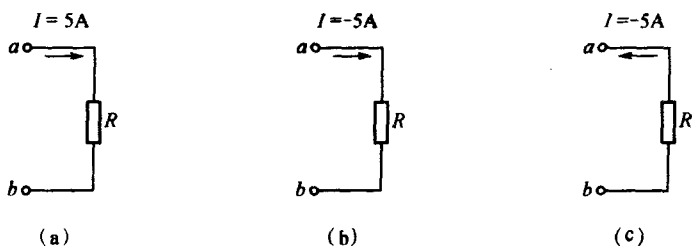


图 1.2.1 例 1.2.1 电路图

1.2.2 电压

1. 电压的定义

在电路理论中,电压定义为单位正电荷从 A 点经任意路径运动到 B 点,电场力所做的功,称为 A 点对 B 点的电压。电压一般用字母 u_{AB} 表示,即

$$u_{AB} = \frac{dw}{dq} \quad (1.2.2)$$

也就是说,电压是电场力 dw 与电荷 dq 的比值。

电压也可用 U 表示,一般情况下,大写字母 U 用来表示不随时间变化的电压,

如直流电压;小写字母 $u(t)$ 用来表示一般的电压,包括随时间变化的电压和直流电压。

在国际单位制中,电压的单位为伏,用字母 V 表示。有时,为了计算方便,电压也常用一些辅助单位,如千伏(kV)、毫伏(mV),它们的关系是

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

2. 电位

在电场中,电位表示某一点的性质,是相对于某一确定的参考点而言的。电路中某一点电位的定义是单位正电荷从该点经任意路径移动到参考点,电场力所做的功。

与电压的定义比较,某点的电位也就是该点到参考点之间的电压。规定参考点电位为零,则电路中其他各点对参考点之间的电位即为相应点的电压。由此可知,电压是两点间的电位差或电位之差。电位的单位与电压的单位相同,也是伏。

在分析电路时,有两点必须清楚:① 电压总是和电路中的两个点有关,两点一旦确定下来,任意两点间电压(电位差)是固定不变的,与参考点的选择无关。② 电位是指点的概念,但它又是一个相对的物理量,若没有参考点,讨论电位就没有意义。参考点的选择是任意的,选取不同的电位参考点,电路中各点的电位数值也将随之变化,但是电位参考点一经选定,其他各点的电位也就确定了,且是惟一的。

想一想:电位为什么有这样的特性?

3. 电压的参考极性

如果单位正电荷从 A 点运动到 B 点,在电场力的作用下,能量有所下降,则 A 点为高电位, B 点为低电位,这时 A 端为正极性, B 端为负极性,如图 1.2.2(a) 所示。反之,如果单位正电荷从 A 点运动到 B 点,该电路提供了能量,则 A 点为低电位, B 点为高电位,这时 A 端为负极性, B 端为正极性,如图 1.2.2(b) 所示。

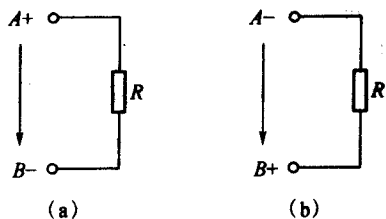


图 1.2.2 电压的极性图

但在实际电路中,任意两点间电压的极性有时是难以判断的,所以在分析和计算电路时,如同假设电流参考方向一样,为电压假设一个参考极性。

所谓电压的参考极性,是指电路中任意两点,人为选定某一点为正极性,另一点为负极性。电压的参考极性也称为电压的参考方向。

电压参考极性一般有以下两种表示方法:

① 下标法 用字母 U 和双下标 AB 表示某段电压参考极性。如 U_{AB} 表示 A 点的电压为正极性, B 点的电压为负极性。

② +、- 极性法 用 +、- 符号表示某段电压参考极性, + 表示正极性, - 表

示负极性。

在规定电压的参考极性下,经分析、计算后,得到该段电压值为正值,则表明其实际极性与参考极性相同;反之,得到该段电压值为负值,则表明其实际极性与参考极性相反。

【例 1.2.2】 试分别说明如图 1.2.3(a)、(b)、(c) 所示电路中电压的真实极性。

解 如图 1.2.3 所示电路中,电压 u 的实际极性分别为:

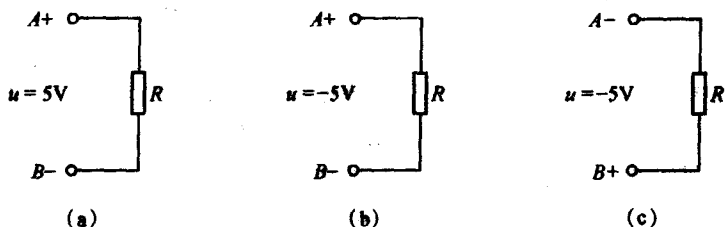


图 1.2.3 例 1.2.2 电路图

图(a)中, A 点为正极性, B 点为负极性;图(b)中, A 点为负极性, B 点为正极性;图(c)中, A 点为正极性, B 点为负极性。

4. 电压、电流的关联参考方向

所谓关联参考方向,是指对同一元件而言,总是假定电流的参考方向与电压的参考极性相一致,即电流的参考方向是从电压参考正极性点流向负极性点。在电路分析中,虽然电压的参考极性和电流的参考方向的标注都是任意的,但为了研究方便,在一般情况下,常采用这种关联参考方向的标注法,如图 1.2.4 所示。如果电压、电流不是关联参考方向,则称为非关联参考方向,如图 1.2.5 所示。

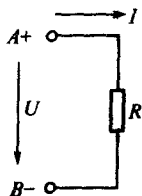


图 1.2.4 关联参考方向

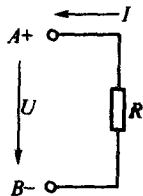


图 1.2.5 非关联参考方向

想一想:对于电源和负载,关联参考方向的标定一样吗?

1.2.3 功率和能量

电路的基本作用之一是实现能量的传递,所以功率和能量这两个概念也是电路分析中常用的两个物理量。

1. 功率

在电路中,某一电路的功率定义为单位时间内该电路能量的变化,用 p 表示。