

高等学校电工电子类课程改革系列教材

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



Fundamentals of Electrotechnics and Electronics

电工电子技术导论

邹逢兴 主编 刘国福 刁节涛 编著



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

——
电子类课程改革系列教材

电工电子技术导论

Fundamentals of Electrotechnics and Electronics

邹逢兴 主编
刘国福 刁节涛 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 · BEIJING

内 容 简 介

本书作为电工电子类课程改革的系列教材之一,将传统的“模拟电子技术”和“数字电子技术”的公共基础部分与基本电工原理、基本电路理论有机地融合在一起,为学习后续的“集成数字电子技术”和“集成模拟电子技术”等课程打下必要的电工原理、基本电路分析、半导体器件和基于半导体器件的基本逻辑门、基本组态放大器等基础。因而属于集成电子技术的先导性课程教材。

本书作为各级各类高等学校理工科专业的本科生、专科生的教材,最好与同系列教材的另外几本书配套使用;但也可作为非理工科专业和少数对电知识要求不高的理工科专业的电工电子技术入门性教材而单独使用;还可作为社会上一切电子技术业余爱好者的启蒙读物。

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

电工电子技术导论/邹逢兴主编. —北京:电子工业出版社,2004.8

(高等学校电工电子类课程改革系列教材)

ISBN 7-121-00238-8

I. 电… II. 邹… III. ①电工技术—高等学校—教材②电子技术—高等学校—教材 IV. ①TM②TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 081742 号

责任编辑:刘宪兰 特约编辑:联 霞

印 刷:北京大中印刷厂

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

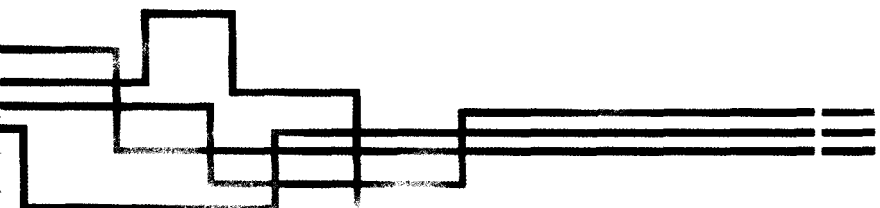
经 销:各地新华书店

开 本:787×980 1/16 印张:20.25 字数:428 千字

印 次:2004 年 8 月第 1 次印刷

印 数:5 000 册 定价:26.00 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。质量投诉请发邮件至 zltts@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。



总 序

邹逢兴教授主编的电工电子类系列教材包括《电工电子技术导论》、《集成数字电子技术》、《集成模拟电子技术》和《EDA 技术与设计实践》四册,它们是作者对电工电子类课程从体系到内容进行教学研究与改革的成果。该系列教材具有如下的特点:

1. 体系新颖, 别具一格

该书将电工电子学内容集成于一体,利于贯彻“少而精”的原则,前后呼应并有机地联系。根据不同专业的课程设置,在学完《电工电子技术导论》之后,可先学《集成数字电子技术》,后学《集成模拟电子技术》,也可互换顺序,灵活掌握。

2. 内容先进, 推陈出新

电子技术是高新技术的基础,内容日新月异。作者审时度势,以集成电路为主干引入教材。如在《集成数字电子技术》中,从 SSI 入门,随后深入到 MSI 和 LSI 的逻辑分析、设计和应用。在《集成模拟电子技术》中,则以集成运算放大器为重点,开展电路分析、设计与应用。

3. 概念清楚, 推导简明

在电工电子学教材中,一般概念较多,特别是电子电路的分析中更是如此,如放大、反馈、振荡、模拟运算与逻辑运算、组合电路与时序电路等都是比较重要的概念。作者在讨论每一概念时,语言精练,表述清楚,以致推导出的公式,也简明易懂。

4. 既重理论, 又重实际

电子技术是一门实践性很强的学科。作者在《集成数字电子技术》、《集成模拟电子技术》两册书的基础上,专辟另一册书,名为《EDA 技术与设计实践》,这是当前电子系统设计中的先进技术,也是理论联系实际的重要一环。此外,配合课程的理论教学尚有若干

常规实验与课程设计。这些内容都是为了培养学生的实验研究能力、分析问题和解决实际问题的能力，以及逻辑思维和创新能力。

5. 行文流畅，便于自学

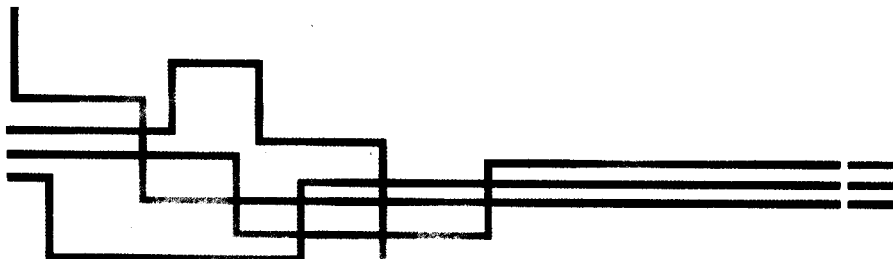
作者集体具有丰富的教学经验和写作经验。因此，该系列教材从内容到文字均能适应当前形势的要求。

本人深信，该系列教材出版后，定将受到广大师生的欢迎。

应作者之嘱托，谨作此序。

康华光

2004年6月15日



前言

本书和《集成数字电子技术》、《集成模拟电子技术》、《EDA 技术与设计实践》三本书一起,构成一套电工电子类课程改革系列教材。该系列教材所体现的教学内容及其组织体系思想,是作者及所在单位多年来对电工电子类课程从体系上到内容上进行教学研究和教学改革的结晶。有关改革思想不仅在本单位教学实践中收到良好效果,而且在各级各类教学学术研讨会上得到国内同行的广泛认同,并应邀在《高等教育研究》、《当代教育》等多种教研学术杂志上撰文交流,受到好评和鼓励。尤其值得一提的是,该系列教材还得到我国著名电子学专家、原国家教委电子技术课程教学指导小组组长、华中科技大学教授康华光先生的褒扬赞赏和“湖南省高等教育 21 世纪教材”计划的立项支持,康老并专门为系列教材的出版作序。对此,我们深感荣幸和深表谢意。

在该系列教材中,我们根据多年的教学实践体会,以及电子技术和电子设计技术的发展,一改几十年一贯制的“电路分析基础+模电基础+数电基础”的电工电子类课程模式,把这几门课作为一个有机的整体,按学科发展内涵和教育、教学规律,尽量从内容到体系上对它们作出优化处理和改造。我们将“模电”和“数电”的公共基础部分与基本电路理论、基本电工原理融合到一起,构成一门“电工电子技术导论”课,而将原来的“模电”和“数电”改为以导论课为基础,只讲基于集成电路的数字/模拟电路分析与设计,而且从 SSI 到 MSI、再到 LSI,集成规模越大,越把它作为课程的重点,最后都归结到基于 LSI 的数字/模拟 EDA,并在其后单开一门“EDA 技术与设计实践”的设计实践性为主的课程。这样形成一个新的电工电子系列课程体系,既可保持内容上的科学性、基础性、完整性,又可体现先进性、实用性,较好地反映和适应电子技术与电子设计技术发展的现状和趋势,还可以用相对较少的学时数实现上述“五性”的统一。

本系列教材的主编和编者,全部是从事相关基础课和专业基础课教学多年,且有多课程教学经验的专业教师,不仅有较丰富的教学实践经验,而且有较丰富的电子技术与计算机应用方面的科研实践经验,对这几门课程的内涵、特点、相关性、应用等都有较深刻的认识和切身体验,其中多数人还有较丰富的写书、出书经验。我认为,由这样一批教师来统一策划、主编和编写相关性很强的同一系列课程的教材,不仅有利于统一写作风格、优化内容衔接、加强课程间相关内容的联系和融合,而且非常有利于从继承与发展的结合上

来准确把握(取舍)内容,从理论与实践的结合上来合理组织内容,按人的认知规律和创新教育需要来科学阐释内容,从而编写出一套特色鲜明、模式新颖、适于创新能力培养,具有较高质量的新型系列教材。这也正是本人策划、主编这套教材的初衷和出发点。当然,能否如愿以偿,有待使用实践的检验。

本书包括8章内容。从第1章到第8章分别为:电路模型和电路定律,电路的分析方法,正弦交流电路,电路的暂态分析,半导体器件基础,基本逻辑运算与逻辑门,基本组态放大电路,数制和码制。其中第1~4章由刘国福编写,第5~8章由刁节涛编写。邹逢兴作为主编,策划、提出了全书内容及组织结构,并对书稿从内容上到文字上进行了仔细修改。

国防科技大学刘少克教授、张玘教授、谢克彬副教授、李云钢副教授、李杰副教授、史美萍副教授、翁飞兵副教授等参加了对本书内容和结构的讨论,提出过许多很好的建议,在此谨向他们表示衷心的感谢!

本书作为课程改革的系列教材之一,内容取舍和结构模式都具有探索性,加之作者水平有限,一定存在不足、不当之处,敬请专家、同行老师和广大读者提出宝贵意见。

邹逢兴

2004年3月于国防科大

目 录

第 1 章 电路模型和电路定律	(1)
1.1 电路与电路模型	(2)
1.1.1 电路	(2)
1.1.2 电路模型与集总假设	(2)
1.2 电路的基本物理量及参考方向	(3)
1.2.1 电流	(3)
1.2.2 电位、电压和电动势	(3)
1.2.3 电压、电流的参考方向	(5)
1.2.4 电路的功、功率和额定值	(6)
1.3 无源电路元件	(8)
1.3.1 电阻元件	(8)
1.3.2 电容元件	(9)
1.3.3 电感元件	(11)
1.4 有源电路元件	(12)
1.4.1 电压源	(12)
1.4.2 电流源	(13)
1.4.3 实际电源的两种模型及其等效变换	(14)
1.4.4 受控源	(16)
1.5 基尔霍夫定律	(17)
1.5.1 基尔霍夫电流定律	(18)
1.5.2 基尔霍夫电压定律	(19)
1.6 电路的基本状态	(22)
思考题与习题	(23)
第 2 章 电路的分析方法	(31)
2.1 支路电流法	(32)
2.2 结点电压法	(34)
2.3 叠加原理	(38)
2.3.1 线性系统及其性质	(38)
2.3.2 叠加原理	(39)

2.4	二端网络的等效变换	(41)
2.5	戴维南定理与诺顿定理	(44)
2.6	含受控源电路的分析方法	(48)
2.7	非线性电阻电路分析	(51)
	思考题与习题	(54)
第3章	正弦交流电路	(63)
3.1	正弦量的基本概念	(64)
3.2	正弦量的相量表示法	(67)
3.3	元件约束和基尔霍夫定律的相量形式	(70)
3.4	复阻抗和复导纳	(77)
3.4.1	复阻抗	(77)
3.4.2	复导纳	(81)
3.5	正弦交流电路分析方法	(83)
3.6	正弦交流电路的功率	(86)
3.6.1	功率	(87)
3.6.2	功率因数的提高	(91)
3.7	正弦交流电路的频率特性	(94)
3.7.1	RC 串联电路的频率特性	(95)
3.7.2	谐振电路	(99)
3.8	非正弦周期信号电路	(104)
3.8.1	周期信号的傅里叶级数	(105)
3.8.2	非正弦周期信号	(106)
3.8.3	非正弦周期信号电路的谐波分析法	(108)
3.9	三相电路	(110)
3.9.1	三相电源	(111)
3.9.2	三相电源和负载的连接方式	(112)
3.9.3	三相电路的计算	(115)
3.9.4	三相电路的功率	(120)
3.10	安全用电常识	(124)
	思考题与习题	(129)
第4章	电路的暂态分析	(141)
4.1	换路原则与电压和电流的初始值的计算	(142)
4.2	一阶电路的零输入响应	(146)
4.2.1	RC 串联电路的零输入响应	(146)

4.2.2	RC 电路的时间常数	(150)
4.2.3	RL 电路的零输入响应	(152)
4.3	一阶电路的零状态响应	(153)
4.3.1	RC 电路的零状态响应	(154)
4.3.2	RL 电路的零状态响应	(159)
4.4	一阶电路的全响应和三要素法	(160)
4.4.1	一阶电路的全响应	(160)
4.4.2	一阶电路的三要素法	(164)
4.5	一阶电路对矩形脉冲的响应	(169)
4.5.1	RC 微分电路	(169)
4.5.2	RC 积分电路	(172)
4.6	二阶电路的零输入响应	(173)
	思考题与习题	(183)
第 5 章	半导体器件基础	(191)
5.1	P 型、N 型半导体与 PN 结	(192)
5.1.1	本征半导体	(192)
5.1.2	P 型半导体	(194)
5.1.3	N 型半导体	(195)
5.1.4	PN 结	(195)
5.2	半导体二极管及其伏安特性	(199)
5.2.1	二极管的结构	(199)
5.2.2	二极管的伏安特性	(200)
5.2.3	二极管的电路模型	(202)
5.2.4	二极管的主要参数	(203)
5.2.5	二极管应用实例	(204)
5.3	半导体三极管及其放大与开关特性	(206)
5.3.1	半导体三极管的结构和分类	(206)
5.3.2	半导体三极管的电流放大原理	(207)
5.3.3	半导体三极管的特征曲线	(210)
5.3.4	半导体三极管的主要参数	(214)
5.4	场效应管及其放大与开关特性	(216)
5.4.1	N 沟道增强型场效应管	(217)
5.4.2	N 沟道耗尽型场效应管	(220)
5.4.3	各种 MOS 场效应管的比较及其参数	(222)

5.4.4 VMOS 功率管	(224)
思考题与习题	(225)
第 6 章 基本逻辑运算与逻辑门	(229)
6.1 算术运算与逻辑运算	(230)
6.2 三种基本逻辑运算与逻辑门	(230)
6.2.1 “与”运算和“与”门	(231)
6.2.2 “或”运算和“或”门	(231)
6.2.3 “非”运算和“非”门	(232)
6.3 逻辑门电路与正、负逻辑门概念	(235)
6.4 分立元件门电路	(236)
6.4.1 二极管与门电路	(236)
6.4.2 二极管或门电路	(237)
6.4.3 三极管非门(反相器)电路	(237)
6.4.4 二极管—三极管复合门电路	(237)
6.5 TTL 门电路典型结构与工作原理	(238)
6.5.1 TTL 与非门电路	(238)
6.5.2 其他功能的 TTL 门电路	(241)
6.6 TTL 门电路主要参数和外部特性曲线	(246)
6.7 CMOS 门电路及其使用特点	(248)
6.7.1 CMOS 反相器	(248)
6.7.2 CMOS 门电路的其他输出形式	(249)
6.7.3 CMOS 门电路的外部特性	(250)
6.8 TTL 电路与 CMOS 电路的接口	(251)
6.8.1 连接规则	(251)
6.8.2 用 TTL 电路驱动 CMOS 电路	(251)
6.8.3 用 CMOS 电路驱动 TTL 电路	(253)
思考题与习题	(253)
第 7 章 基本组态放大电路	(257)
7.1 概述	(258)
7.2 三极管共射极放大电路及其静态、动态分析	(260)
7.2.1 基本电路	(261)
7.2.2 电路的静态分析	(262)
7.2.3 电路的动态分析	(263)
7.2.4 工作点稳定的共发射极放大电路	(275)

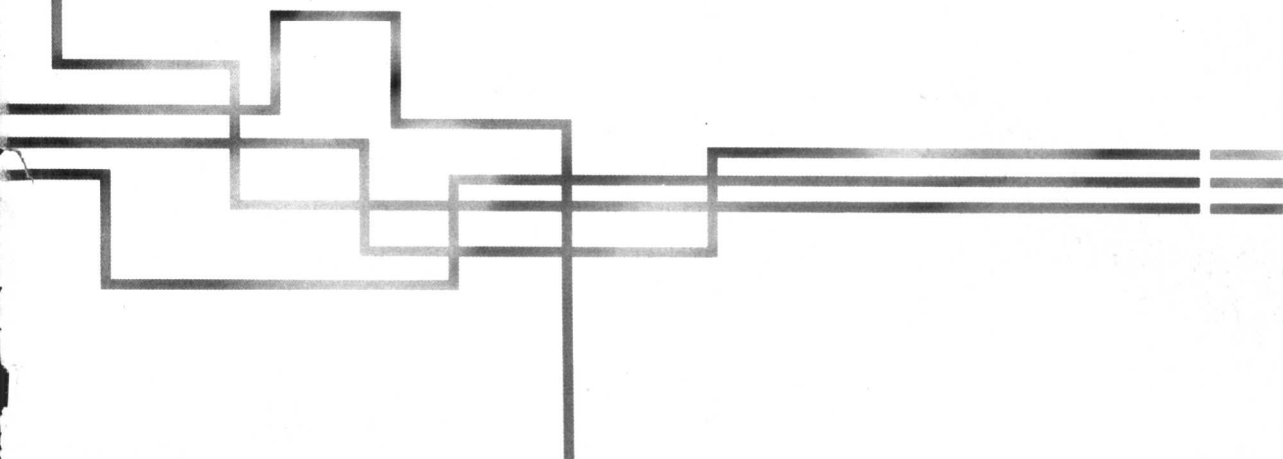
7.3	三极管共集电极放大电路及其分析	(280)
7.3.1	静态工作点确定	(280)
7.3.2	动态特性参数计算	(281)
7.3.3	主要特点和应用	(283)
7.4	三极管共基极放大电路及其分析	(284)
7.4.1	静态工作点确定	(284)
7.4.2	动态特性参数计算	(285)
7.4.3	主要特点和应用	(286)
7.5	场效应管基本放大电路	(286)
7.5.1	共源极放大电路	(286)
7.5.2	共漏极放大电路	(291)
7.5.3	恒流源电路	(293)
	思考题与习题	(296)
第 8 章	数制和码制	(301)
8.1	常用数制及其相互转换	(302)
8.1.1	常用数制	(302)
8.1.2	常用数制间数的转换	(303)
8.2	常用码制	(305)
8.2.1	二—十进制码(BCD 码)	(306)
8.2.2	格雷码	(307)
8.2.3	奇偶校验码	(308)
	思考题与习题	(309)
	参考文献	(310)

Fundamentals of Electrotechnics and Electronics

第 1 章

电路模型和电路定律

电路分析研究的对象是电路模型。电路中主要的变量是电流和电压。电路是千差万别的，但电压和电流在电路中的分配是有共同客观规律的，即受到两种规律的约束：一是来自电路中连接方式的约束，称为基尔霍夫定律的约束；二是来自元件本身伏安特性的约束。本章先介绍有关电路及其基本物理量的概念，再介绍几种电路元件的特性与基尔霍夫定律。



1.1 电路与电路模型

1.1.1 电路

电路是多种电工设备组合后的总称，它提供了电流通过的路径。

电路中，产生电能的元件称为电源。电路中吸收电能并将电能转换为既定的非电能或电信号（电压、电流）的元件称为负载。连接电源和负载的导线，称为中间环节，其作用是传输电能和电信号。中间环节中还常接有开关等一些装置和设备，以实现对电路的控制、测量和保护。

功能及作用：

根据电路连接的目的和功能，电路可分为力能电路和信号电路两大类。

以传输和分配电能并将电能转换为非电能为目的的电路称为力能电路，俗称“强电”系统。

以传递和处理信号为目的的电路称为信号电路，俗称“弱电”系统。

电路虽有各式各样的形式，功能也不同，但它们都是受共同的基本规律支配的。

在讨论基本规律之前，先介绍一下电路模型，这就是我们要研究的对象。

1.1.2 电路模型与集总假设

实际电路都是由电阻器、电容器、线圈、变压器、电源等部件组成的。

在设计制作某种部件时，利用的是它的主要物理特性。例如，制造一个电阻时主要利用的是它对电流呈现阻力的性质。但在实际中，不可能制作只表现其主要物理性质的部件。一个实际电阻器在有电流通过时会产生一个磁场，即也具有电感的性质（通电直导线）。如果我们在分析问题，把部件中所有可能出现的情况都考虑进去，将使电路分析变得十分困难。因此就必须在一定条件下对实际部件进行理想化，忽略它的次要性质，用一个足以表征其主要性质的模型来代替。对于一个实际电阻器，它的电感量是很小的，因此把它看做一个理想电阻元件是完全可以的。

那么，实际部件在什么条件下可以理想化为一个便于分析的模型呢？这就是集总假设问题。在实际中，电能的消耗、磁场和电场的储能这些现象常会同时交叉发生在同一部件中。像刚才我们提到的实际电阻元件，它就是能量的消耗和磁场的储能并存。所谓理想化就是指，假定这些现象可以分别研究，即假定电场的储能、磁场的储能、电能的消耗分别集中在 C 、 L 、 R 三种元件中，三种现象可以分开研究而不是混为一谈。这样的元件称为集总参数元件，简称集总元件，这样的假设称为集总假设。电路理论以集总假设为基本前提，一切分析方法均以此为基础。

那么集总假设的条件是什么呢？对于集总元件连接成的电路，不论其连接方式如何，只要电路尺寸远小于电路的最高工作频率所对应的波长，都称之为集总电路。

例如，电力用电频率（工频）为 50Hz，对应的波长为 6 000 km ($\lambda = \frac{3 \times 10^8}{f}$)，显然在电路分析时均可把研究的电路作为集总电路来对待。

在讨论电路时，主要对电路中的电流、电压等基本变量进行分析。在分析这些基本变量时，必须给它们加一个参考方向，否则没有意义。

1.2 电路的基本物理量及参考方向

电压、电流等是描述电路中能量转换关系或信号传递和处理过程的基本物理量。在分析电路之前要弄清它们的概念及其参考方向等问题。

1.2.1 电流

电荷的定向运动形成电流，习惯上把正电荷运动的方向规定为电流的方向。

物理中把单位时间内通过导体横截面积的电量定义为电流强度，用以衡量电流的大小。电工技术中常把电流强度简称为电流。因此“电流”不仅指电路中一种特定物理现象，而且是描述电路的一个基本物理量。

电流强度用字母 i 或 I 表示。一般不随时间变化的物理量用大写字母表示，而随时间变化的物理量用小写字母表示。随时间变化的电流定义为

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

不随时间变化的电流叫做恒定电流，也称为直流电流。直流电流的定义为

$$I = \frac{Q}{T} \quad (1.2)$$

式中 Q 为时间 T 内通过导体横截面积的电量。

在国际单位制中，时间的单位为秒 (s)，电量的单位为库仑 (C)，电流的单位为安培 (A)，简称安。电流的辅助单位有毫安 (mA)、微安 (μA) 等。

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

1.2.2 电位、电压和电动势

1. 电位

由物理学可知，电位即电场中某点的电势，它在数值上等于电场力把单位正电荷从某点移动至无穷远处所做的功。电场无穷远处的电位被认定为零，作为衡量电场中各点电位

的参考点。工程上常选与大地相连的部件（如机壳等）作为参考点，没有与大地相连的部件的电路，常选许多元件的公共结点作参考点，并称为“地”。在电路分析中，可选电路中一点作为各结点的参考点。参考点用接地符号“⊥”标出。

2. 电压

电压也是描述电场力移动电荷做功的物理量，它在数值上等于电场力把单位正电荷从一点移到另一点所做的功。

电压用字母 u 或 U 表示。a、b 两点间电压记做 u_{ab} ，下标 a、b 表示电压方向从 a 到 b。电压、电位的单位都是伏特，简称伏（V），辅助单位有千伏（kV）、毫伏（mV）、微伏（ μV ）等。

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

根据电压和电位的定义可知，a、b 两点间的电压等于 a、b 两点间的电位之差，即

$$u_{ab} = u_a - u_b$$

若以 b 为参考点，a、b 两点间的电压等于 a 点的电位。

3. 电动势

电动势是衡量电源内局外力克服电场力移动电荷做功的物理量，它在数值上等于局外力把单位正电荷在电源内部由低电位端移到高电位端所做的功。电动势用字母 E 表示，单位与电压相同，其方向为电位升高的方向。

例 1.1 在图 1.1 (a) 所示电路中，已知 $U_{S1}=6\text{V}$ ， $U_{S2}=3\text{V}$ ，求 U_{bc} 。

解：

$$U_c = 0\text{V}, U_a = 6\text{V},$$

$$U_b = 6 + 3 = 9\text{V}$$

$$U_{bc} = U_b - U_c = 9\text{V}$$

若以 b 为参考点，如图 1.1 (b) 所示，则各结点电位分别为

$$U_b = 0\text{V}, U_a = -3\text{V}$$

$$U_c = -(3 + 6) = -9\text{V}$$

$$U_{bc} = U_b - U_c = 9\text{V}$$

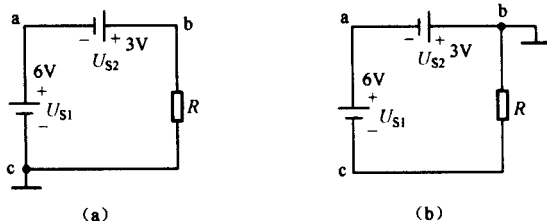


图 1.1 例 1.1 图

由例 1.1 可以看出:

- (1) 若 $U_b > U_c$, 则 $U_{bc} > 0$, 反之则 $U_{bc} < 0$ 。电压的方向为电位降低的方向。
- (2) 电路中各点的电位值是相对值, 是相对于参考点而言的。参考点改变, 各点的电位值将随之改变, 但无论参考点如何改变, 各点间的电位相对高低即电位差并不改变, 因此两点间的电压值是绝对的。
- (3) 电位值和电压值与计算时所选的路径无关。

1.2.3 电压、电流的参考方向

电路的分析求解, 是在已知电路结构和元件参数条件下, 计算通过各元件的电流和元件两端的电压。在简单电路中, 电流、电压的实际方向可以预先判断, 计算不会遇到困难。但在复杂的电路或交流电路中, 它们的方向是无法预知或不确定的。因此电流、电压的方向不能靠定性的判断, 而必须有一个科学的普遍使用的方法, 这就是本节要讨论的设定电流、电压参考方向的问题。

1. 电流的参考方向

电路中电荷的定向移动形成电流。习惯上把正电荷运动的方向作为电流方向。

图 1.2 表示一个复杂电路中的一个任意的已知元件。电流的实际方向是从 a 到 b 还是从 b 到 a, 无法预先判定。为了便于研究, 可在电路分析时事先任意假定一个正电荷运动的方向, 这个假定方向称为电流的参考方向或电流的正方向。电流的参考方向在电路中用箭头表示。图 1.2 中所示的电流 i 的参考方向是由 a 端流向 b 端。

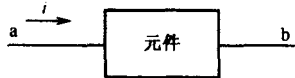


图 1.2 电流的参考方向

假定了电流的参考方向后, 即可以此为依据对电路进行求解。若解得电流 i 值为正, 说明电流的实际方向与参考方向一致; 反之, 则说明电流的实际方向与参考方向相反。如果在电路中没有标明参考方向, 那么计算出的电流正、负没有任何意义。因此进行电路分析之前必须标明电流的参考方向, 至于电流的实际方向则不必标出。

例 1.2 在图 1.2 中:

- (1) 已知 $i = -1\text{A}$, 试指出电流的实际方向;
- (2) 已知 $i = 2\sin\left(100\pi t + \frac{3}{2}\pi\right)\text{A}$, 试指出 $t = 2\text{s}$ 时 i 的实际方向。

解:

- (1) i 为负值, 表示电流的实际方向与图中所标的参考方向相反, 故电流的实际方向是由 b 指向 a。