

教育部人才培养模式改革和开放教育试点教材

电工电子技术

DIANGONGDIANZI
JISHU

李西平 等编



中央广播电视大学出版社

Central Radio & TV University Press

教育部人才培养模式改革和开放教育试点教材

电工电子技术

李西平 等编



中央广播电视大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

电工电子技术 / 李西平等编. —北京: 中央广播电视大学出版社, 2006. 8

教育部人才培养模式改革和开放教育试点教材

ISBN 7-304-03643-5

I. 电… II. 李… III. ①电工技术-电视大学-教材②电子技术-电视大学-教材 IV. ①TM②TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 092372 号

版权所有, 翻印必究。

教育部人才培养模式改革和开放教育试点教材

电工电子技术

李西平 等编

出版·发行: 中央广播电视大学出版社

电话: 发行部: 010-58840200

总编室: 010-68182524

网址: <http://www.crtvup.com.cn>

地址: 北京市海淀区西四环中路 45 号

邮编: 100039

经销: 新华书店北京发行所

策划编辑: 何勇军

责任编辑: 安红

印刷: 北京云浩印刷有限责任公司

印数: 2501~7500

版本: 2006 年 8 月第 1 版

2006 年 10 月第 2 次印刷

开本: 787×1092 1/16

印张: 16 字数: 364 千字

书号: ISBN 7-304-03643-5/TM·39

定价: 27.00 元 (含 CD-ROM 光盘一张)

(如有缺页或倒装, 本社负责退换)

数控技术专业教学资源建设咨询委员会

顾 问：于云秀 郝广发 严 冰

主 任：李林曙 孙长庆

成 员：（以姓氏笔画为序）

王 军	方院生	刘春佳	任 岩	冯雪飞
任庆国	何阳春	关德章	杜纯梓	吴炳岳
沈炳生	李长江	李 涛	季连海	周延军
陈 昊				

数控技术专业教学资源建设委员会

主 任：陶水龙 刘亚琴

副主任：张超英 杨 琳 郭 鸿 章振周

宁 晨 王兆山 李西平

成 员：（以姓氏笔画为序）

石 亮	田 虢	冯小平	孙海维	齐 宏
谷 良	杨海东	何勇军	冼健生	洪晓锋
高鸿庭	栾振涛	梁柳青	崔虹雯	郭士义
舒大松				

前 言

为了配合中央广播电视大学数控技术专业的教学,中央广播电视大学与机械工业教育发展中心合作共同组织编写了数控技术专业系列教材。该系列教材的编写遵循教育部等三部委联合发布的《关于开展数控技术专业技能型紧缺人才培养的通知》精神,结合“中央广播电视大学人才培养模式改革和开放教育试点”研究工作的开展,立足职业为导向,学生为中心,以基础理论教学“必需、够用”为度,突出实践技能教学的地位,旨在培养学生具有一定的工程技术应用的能力,以适应就业岗位实际工作的需要。

本书是中央广播电视大学数控技术专业系列教材之一,是按照中央电大2006年制定的电工电子技术课程多种媒体教材一体化设计方案而编写的。

随着科学技术的不断发展,各学科和专业的互相渗透,电工电子技术课程所具有的覆盖面广、实践性强的特点愈显突出,使其成为工科专业公共的不可或缺的技术基础课。

本书吸收了近年来职业教育关于电工电子技术课程教学改革和教材建设的宝贵经验,并结合数控技术专业的实际需要,在编写过程中注意了以下四个方面:

(1) 本教材力求体现“精练”和“实用”。以专业必需的基本概念和基本分析方法为主,舍去繁复的、不必要的理论叙述与推导,突出基本知识和基本技能的工程应用。

(2) 针对电工电子技术课程的特点,为使知识、能力、技能和应用能够有机地融为一体,本教材尝试将基础教学内容与实验实训内容分章节编排在一起,在形式上前后贯通,在内容上紧密相连,以求体现理论教学与实际应用相结合的教学指导思想。

(3) 作为教学辅助工具,本教材引入了计算机电路仿真软件,电路仿真软件的应用不仅可以减少不必要的手工计算,更重要的是,直观演示能够高效率地帮助学生理解和巩固所学的理论知识。事实证明,在本课程的学习中应用电路仿真软件,既是教学改革的有益尝试,也是结合工程实际需要的必然。

(4) 本教材的内容以电路分析基础、电工技术基础、电子技术基础三个教学模块划分,其他工科专业可根据教学的实际需要灵活选取教学模块。

参加本书编写的有李西平(前言、第1章、第2章)、田毓(第3章、第4章)、宁晨(第5~8章)、谷良(第9章、第10章)。李西平主持本书的编写并统稿。

本书由北京工业职业技术学院路金星任主审，审定组成员北方工业大学张超英、北京工贸技师学院董桂桥等亦对本书的编写提出了许多宝贵的意见。此外，在本书编写的技术要求方面安红提出许多有益的建议，在此一并致衷心的感谢。

由于时候仓促，兼之作者水平有限，书中不妥之处在所难免，恳请广大读者和同仁不吝批评指正。

编 者
2006 年 5 月

目 录

教学模块1 电路分析基础

第1章 电路的基本概念、定律和分析方法	(1)
1.1 电路的组成及作用	(1)
1.2 电路的主要物理量	(2)
1.3 电路基本元件及其伏安特性	(7)
1.4 电路的等效变换	(10)
1.5 基尔霍夫定律	(15)
1.6 电路的基本分析方法	(18)
1.7 最大功率传输定理	(23)
*1.8 受控源电路简介	(24)
1.9 直流电路实验及技能训练	(26)
思考与练习题	(30)
第2章 正弦交流电路	(33)
2.1 正弦交流电的瞬时表示法	(34)
2.2 正弦交流电的相量表示法	(36)
2.3 单一参数的交流电路	(39)
2.4 RLC 串联交流电路	(46)
2.5 电路中的谐振	(51)
2.6 功率因数的提高	(54)
2.7 三相交流电路	(54)
2.8 正弦交流电路实验及技能训练	(59)
思考与练习题	(62)

教学模块2 电工技术基础

第3章 磁路与变压器	(64)
3.1 磁场的基本物理量和磁性材料的磁性能	(64)
3.2 磁路基本定律	(68)
3.3 变压器的结构、原理与功能	(69)
3.4 特殊用途变压器简介	(74)
思考与练习题	(76)
第4章 异步电动机及其控制电路	(78)
4.1 三相异步电动机的结构与工作原理	(78)
4.2 三相异步电动机的电磁转矩和机械特性	(85)
4.3 常用低压控制电器	(88)
4.4 三相异步电动机的数据及选用	(94)
4.5 三相异步电动机的起动与调速	(96)
4.6 三相异步电动机的控制线路	(98)
4.7 其他电动机简介	(103)
4.8 输配电简介与安全用电常识	(109)
4.9 三相异步电动机及其控制线路实验及技能训练	(113)
思考与练习题	(115)

教学模块3 电子技术基础

第5章 半导体器件	(117)
5.1 二极管的单向导电特性	(118)
5.2 特殊二极管	(121)
5.3 三极管的基本结构和电流放大特性	(122)
5.4 场效应管简介	(128)
5.5 半导体器件实验及技能训练	(129)

思考与练习题	(131)
第6章 基本放大电路及其应用	(132)
6.1 放大电路的组成及各元器件的作用	(133)
6.2 放大电路分析	(134)
6.3 射极输出器	(141)
6.4 差动放大电路	(143)
6.5 基本放大电路实验及技能训练	(145)
思考与练习题	(147)
第7章 集成运算放大器及其应用	(149)
7.1 集成运算放大器简介	(150)
7.2 放大电路中的负反馈	(152)
7.3 集成运放的线性应用	(157)
7.4 集成运放的非线性应用	(162)
7.5 集成运放实验及技能训练	(164)
思考与练习题	(165)
第8章 直流稳压电源	(168)
8.1 直流稳压电源的组成	(168)
8.2 整流电路和滤波电路	(169)
8.3 稳压电路	(171)
8.4 直流稳压电源实验及技能训练	(177)
思考与练习题	(179)
第9章 门电路与组合电路	(180)
9.1 数制与编码	(180)
9.2 逻辑代数与三种基本运算	(183)
9.3 逻辑代数的基本定律和规则	(187)
9.4 常用逻辑门电路	(191)
9.5 TTL 与 COMS 门电路的技术特点	(198)

9.6 组合逻辑电路的分析	(201)
9.7 常用中规模组合逻辑电路的应用	(203)
9.8 门电路与组合电路实验	(211)
思考与练习题	(214)

第10章 触发器与时序电路

(217)

10.1 常用触发器	(218)
10.2 时序电路的分析方法	(227)
10.3 寄存器及其应用	(229)
10.4 计数器及其应用	(231)
10.5 脉冲波形的产生与整形	(234)
10.6 触发器与时序电路实验	(238)
思考与练习题	(241)

参考文献

(244)

教学模块 1 电路分析基础

第 1 章 电路的基本概念、定律和分析方法

学习目标

理解电路基本物理量的物理含义。

理解电路中电压、电流参考方向以及吸收功率和提供功率的概念。

理解基尔霍夫定律，掌握用支路电流法、叠加定理和戴维南定理分析电路的方法。

理解电路最大功率传输的意义。

内容提要

本章从建立电路模型，认识电路物理量等最基本的问题出发，重点讨论电压、电流参考方向、电路的工作状态、电压源与电流源的等效变换、基尔霍夫定律等概念和定律，这些概念和定律是电路理论的核心内容。此外，介绍了支路电流法、叠加定理、戴维南定理等常用的电路分析方法。

1.1 电路的组成及作用

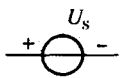
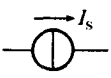
电路是为电流的流通提供路径的集合体。电路的基本功能是实现电能的产生、传输、分配和转换，或实现电信号的传递和处理。一个完整的实际电路是由提供电能的设备（如发

电机、电池)、传输电能的设备(如连接导线、开关)、使用电能的设备(如电灯、家用电器)三部分组成。

由于实际电路是由起不同作用的电路元器件所组成的,它们所表征的电磁现象和能量转换特征一般都比较复杂,因此为便于分析和计算实际电路,引入理想电路元件的概念。每一个理想电路元件只反映一种电磁特性,如用“电阻”反映电阻器消耗电能的性质,用“电容”反映电容器储存电场能量的性质,用“电感”反映电感线圈储存磁场能量的性质等。

由理想电路元件组成的电路称为理想电路模型(简称电路模型),亦称电路原理图(简称电路图)。表1-1中列出了几种常见的理想电路元件和它们的图形符号。

表1-1 理想电路元件和图形符号

理想元件	物理特性	图形符号
电阻元件	消耗电能	
电容元件	存储电场能	
电感元件	存储磁场能	
电压源	提供电能	
电流源		

1.2 电路的主要物理量

1.2.1 电 流

电流的强弱用电流强度来表示,其数值等于单位时间内通过导体某一横截面的电荷量,设在 dt 时间内通过某一横截面的电荷量为 dQ ,则通过该截面的电流强度为

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

式中电流强度 i 是随时间而变化的。若 i 不随时间变化,则电流强度为恒定值,这种电流就称为恒定电流,简称直流,它所流通的路径就是直流电路。在直流电路中,式(1-1)可写成

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

在国际单位制(SI)中,电荷的单位是库仑(C),时间的单位是秒(s),电流强度的单位是安培(A),简称“安”。实际应用中还有千安(kA)、毫安(mA)和微安(μA)

等, 其换算关系为 $1 \text{ A} = 10^3 \text{ mA} = 10^6 \text{ }\mu\text{A}$ 。

习惯上规定正电荷移动的方向或负电荷移动的反方向为电流的实际方向。在简单电路中, 可以很容易判断出电流的实际方向, 但对于较复杂的电路, 电流的实际方向往往难以确定, 为此引入参考方向这一概念。参考方向是人为任意规定的假定方向, 它有可能与电流的实际方向相同, 也可能与电流的实际方向相反, 相同和相反可用数学符号正、负来表示。当电流的实际方向与参考方向一致时, 电流为正值; 反之, 电流为负值, 如图 1-1 所示。

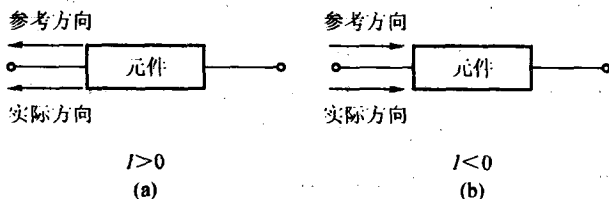


图 1-1 电流的参考方向

例 1.1 图 1-2 所示电路中, 各电流的参考方向已标出, 已知 $I_1 = -4 \text{ A}$, $I_2 = 2 \text{ A}$, $I_3 = -2 \text{ A}$, 试确定 I_1 , I_2 , I_3 的实际方向。

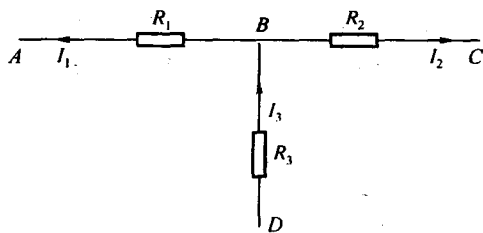


图 1-2 例 1.1 图

解: 由于 $I_1 < 0$, 故 I_1 的实际方向与参考方向相反, I_1 由 A 点流向 B 点。

同理, $I_2 > 0$, 则 I_2 的实际方向与参考方向相同, I_2 由 B 点流向 C 点。

$I_3 < 0$, 则 I_3 的实际方向与参考方向相反, I_3 由 B 点流向 D 点。

[要点]

例题中电流的正负号是根据参考方向得出的, 就是说, 电流的实际方向已经明确。不设定参考方向而讨论电流的正负是无意义的。

1.2.2 电 压

电路中 A, B 两点间的电压是指电场力把单位正电荷从电路的 A 点移到 B 点所做的功, 即

$$u = \frac{dW}{dQ} \quad (1-3)$$

式中 dQ 是被移动的正电荷的电荷量, dW 是电场力将正电荷 dQ 从 A 点移到 B 点所做的功。 u 是随时间变化的量, 若 u 不随时间变化, 这样的电压称为直流电压, 式 (1-3) 可写成

$$U = \frac{W}{Q} \quad (1-4)$$

在国际单位制 (SI) 中, 电荷的单位是库仑 (C), 功的单位是焦耳 (J), 电压的单位为伏特 (V), 简称“伏”。实际应用中, 计量微小电压时, 以毫伏 (mV) 或微伏 (μV) 为单位, 其换算关系为 $1\text{ V} = 10^3\text{ mV} = 10^6\text{ }\mu\text{V}$ 。计量高电压时, 则以千伏 (kV) 为单位。

电压可以用电位来表示。电位是指电场力把单位正电荷从电路的一点移到参考点所做的功, 就是说, 电路中任意一点的电位, 就是该点与参考点之间的电压。电位用符号 V 加下标表示, 电位的单位也是伏特。有了电位的概念, 电路中任意两点的电压可以用两点间的电位之差来表示, 如 A, B 两点间的电压可表示为 $U_{AB} = V_A - V_B$ 。

规定电位降低的方向为电压的实际方向。但在复杂的电路里, 元件两端电压的实际方向是不易判别的, 因此, 与电流一样, 必须对电路中两点间电压设定参考方向。图 1-3 中, 设定 A 点为高电位点, 标以“+”, B 点相对于 A 点是低电位点, 标以“-”, 因此电压的参考方向为 A 点指向 B 点。当电路两点间电压的实际方向与参考方向相同时, 电压为正; 反之, 电压为负。有时为了图示方便, 亦可用一个箭头表示电压的参考方向, 如图 1-3 所示。

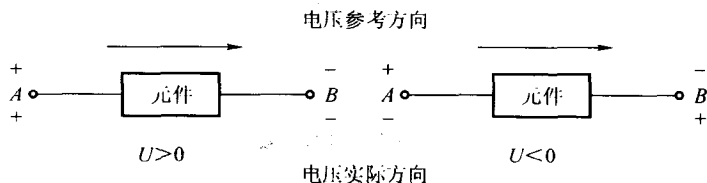


图 1-3 电压的参考方向

必须明确: 与电流的正、负一样, 电压的正与负, 只有在设定参考方向的条件下才有意义的。电压的参考方向亦可称为电压的参考极性 or 正方向。

虽然电压和电位都是以电场力做功来阐述的物理量, 但也有不同之处。电位是相对参考点而言的, 讲某点电位, 事先一定要标明参考点的位置, 参考点不同, 该点电位的数值亦不同, 脱离了参考点孤立地讲某一点的电位是无意义的。电压是电路中两点电位之差, 电位差不会随参考点不同而改变, 是固定的。

由于参考点的电位常设为零, 故参考点又称为“零电位点”。在工程上常选大地、机壳作为参考点。在电路中一般是选一条特定的公共线作为参考点 (用符号“ $\perp$ ”表示), 这条公共线是众多元件的汇集处, 且往往是电源的一个极。

电流、电压的参考方向均可任意设定, 两者不相关。但为了分析电路方便起见, 常常把元件或一段电路上电流与电压的参考方向取为一致, 称为关联参考方向, 简称关联方向, 如

图 1-4 所示。这样，在电路中只需标出电压的参考方向，电流的参考方向就自然确定了，反之亦然。一般情况下，电路图上标出两者中任意一个参考方向，另一个可省略不标。

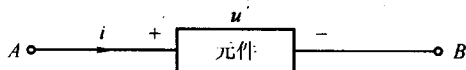


图 1-4 电压电流关联参考方向

必须明确：在分析和计算电路时，参考方向一旦确定，就不能更改，否则会造成混乱。

1.2.3 电功率

定义单位时间内电场力所做的功为电功率（简称功率），用 p 表示

$$P = \frac{dW}{dt} \quad (1-5)$$

式中功的单位是焦耳 (J)，时间的单位是秒 (s)，功率的单位是瓦特 (W)，简称瓦。

功率也可以用电压（式 (1-3)），电流（式 (1-1)）的乘积来表示，即

$$P = \frac{dW}{dt} = \frac{dW}{dQ} \cdot \frac{dQ}{dt} = u \cdot i \quad (1-6)$$

式中电压的单位为伏特 (V)，电流的单位为安培 (A)，功率的单位为瓦特 (W)，即

$$1 \text{ W} = 1 \text{ VA}$$

在直流情况下

$$P = UI \quad (1-7)$$

如果用电压和电流的乘积来计算电路中某元件（或某一段电路）的功率，不仅要计算功率的大小，有时还要判断功率的性质，即该元件是提供功率还是吸收功率。

图 1-5 所示电路中的矩形方框表示某元件（或某一段电路）。从图 1-5 (a) 可见，当电压、电流取关联方向时，如果计算出的功率为正值 (U, I 同为正或同为负)，则表明该元件是负载性元件，是吸收（消耗）电功率的。所谓吸收电功率，是指该元件把电能转换成其他形式的能量（如热能、光能等）。

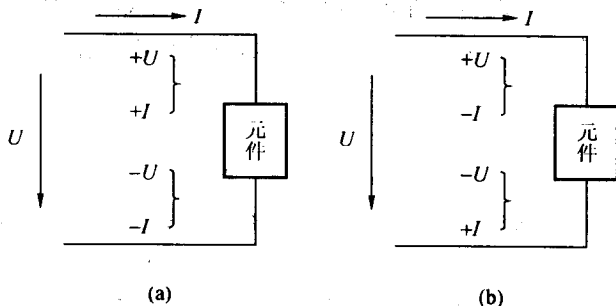


图 1-5 功率的正负

反之,在电压、电流取关联方向时,从图1-5(b)中可见,如果计算出的功率为负值 U, I 符号相异,则表明该元件是电源性元件,是提供(产生)电功率的。

当电压、电流取非关联方向时,功率的计算公式应为

$$P = -UI \quad (1-8)$$

按式(1-8)算得的功率同样是

$P > 0$ 为吸收(消耗)功率,

$P < 0$ 为提供(产生)功率。

应当说明:对于一个电路,电源产生的功率和负载上消耗的功率总是平衡的,遵循能量守恒定律。

例1.2 图1-6所示电路中的矩形方框表示元件,已知 $U_{AB} = 40 \text{ V}$, $I_1 = 15 \text{ A}$, $I_2 = 10 \text{ A}$, $I_3 = -5 \text{ A}$,试求电路各元件的功率。

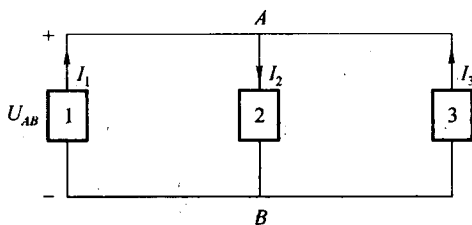


图1-6 例1.2图

解:由图1-6中可见,元件1上的电压和电流取非关联方向,于是

$$P_1 = -U_{AB}I_1 = -40 \text{ V} \times 15 \text{ A} = -600 \text{ W}$$

由于求出的功率为负值,说明元件1为电源,是提供功率的。

由图1-6中可见,元件2上的电压和电流取关联方向,于是

$$P_2 = U_{AB}I_2 = 40 \text{ V} \times 10 \text{ A} = 400 \text{ W}$$

由于求出的功率为正值,说明元件2是电阻性负载,是吸收功率的。

由图1-6中可见,元件3上的电压和电流取非关联方向,于是

$$P_3 = -U_{AB}I_3 = -40 \text{ V} \times (-5) \text{ A} = 200 \text{ W}$$

由于求出的功率为正值,说明元件3为电阻性负载,是吸收功率的。

从得出的结果可看出,电阻所吸收的功率与电源提供的功率是相等的,即符合能量守恒定律。

[要点]

计算电路中某元件(或一段电路)的功率时,当电压、电流设定的参考方向为关联,功率式中取正号;非关联,取负号。这样如果得出的功率为正,则是吸收功率;为负,则是提供功率。

实际上,判别一个元件是吸收功率还是提供功率,取决于元件上电压和电流的实际方向,二者相同时是吸收功率,相反时是提供功率。

1.3 电路基本元件及其伏安特性

1.3.1 电阻元件

电路中的元件，如不另外说明，均为理想元件。电阻元件是电路中最常见的一种元件，它是从实际电阻器中抽象出来的，如电灯、电炉等。因此电阻元件是一种耗能元件。

若把电阻两端的电压取为纵坐标，电流取为横坐标，对于一系列的电压和电流值就得到表示二者函数关系的曲线，这条曲线称为电压电流特性曲线。由于电压的单位是伏特，电流的单位是安培，故又称其为伏安特性曲线，简称为伏安特性。

根据电阻性质的不同，分为线性电阻和非线性电阻。在关联参考方向下，线性电阻的伏安特性是一条通过坐标原点的直线，如图 1-7 所示。

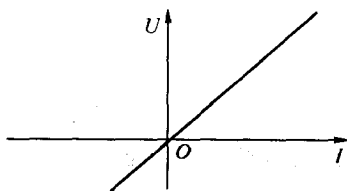


图 1-7 线性电阻伏安特性

伏安特性不是直线的电阻称为非线性电阻。图 1-8 (a) 为半导体二极管的伏安特性，图 1-8 (b) 为半导体三极管的输出特性，它们对外均呈现非线性电阻特性。

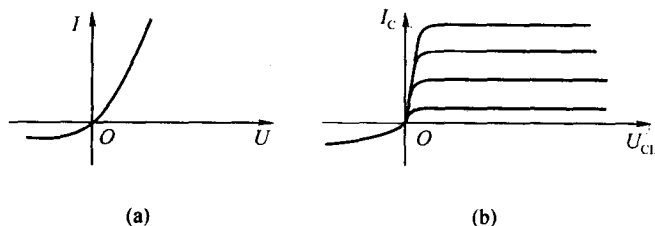


图 1-8 非线性电阻的伏安特性

当线性电阻上的电压、电流取关联方向时，根据欧姆定律

$$U = RI \quad (1-9)$$

式中电压 U 的单位是伏特 (V)，电流 I 的单位是安培 (A)，电阻 R 的单位是欧姆 (Ω)，电阻的常用单位还有千欧 ($k\Omega$)，兆欧 ($M\Omega$) 等。

电阻的特性还可以用另一个参数电导 G 来表示，电导 G 表示的是该元件传导电流的能