

21

21 SHIJI GAOZHIGAOZHUAN DIANZI JISHU GUIHUA JIAOCAI
世纪高职高专电子技术规划教材

电工技术基础

曾令琴 胡修池 主编

- 引入工程实践
- 突出基本概念
- 注重技能训练

免费提供

电子教案
习题解答



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

21 世纪高职高专电子技术规划教材

电工技术基础

曾令琴 胡修池 主编

人民邮电出版社
北 京

图书在版编目 (CIP) 数据

电工技术基础 / 曾令琴, 胡修池主编. —北京: 人民邮电出版社, 2007.3
21 世纪高职高专电子技术规划教材

ISBN 978-7-115-15561-0

I. 电... II. ①曾...②胡... III. 电工技术—高等学校: 技术学校—教材 IV. TM
中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 144929 号

内 容 提 要

本书内容共分 10 章, 第 1 章~第 3 章介绍电路分析基础; 第 4 章~第 10 章介绍电工技术基础。电工技术包括磁路与变压器、交流电机、直流电机、电气设备与控制电路、安全用电、照明电路和实用电工测量。

本书行文流畅, 内容先进, 概念清楚, 注重实际, 目标明确, 便于自学。

本书作为高职高专院校、高等技工学校的教材, 也可供相关工程技术人员学习或作为电工技术爱好者的参考书。

21 世纪高职高专电子技术规划教材

电工技术基础

-
- ◆ 主 编 曾令琴 胡修池
责任编辑 赵慧君
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京铭成印刷有限公司印刷
新华书店总店北京发行所经销
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 13.25
字数: 318 千字
印数: 1—3 000 册
 - 2007 年 3 月第 1 版
2007 年 3 月北京第 1 次印刷

ISBN 978-7-115-15561-0/TN

定价: 20.00 元

读者服务热线: (010)67170985 印装质量热线: (010)67129223

21 世纪高职高专电子技术规划教材

编 委 会

主 任 王俊鹏

副 主 任 张惠敏 向 伟

编 委 (以姓氏笔画为序)

朱乃立 阮友德 许恒玉 苏本庆 余本海

李存永 肖 琰 邱寄帆 张新成 林训超

胡修池 胡起宙 赵慧君 曾令琴 韩 丽

程 勇 潘春燕

丛书出版前言

遵照教育部提出的以就业为导向, 高职高专教育从专业本位向职业岗位和就业为本转变的指导思想, 人民邮电出版社协同一些高职高专院校和相关企业共同开发了 21 世纪高职高专电子技术规划教材。

随着职业教育在我国的不深化, 各高职高专院校越来越关注人才培养的模式与专业课程设置, 越来越关心学生将来的就业岗位, 并开始注重培养学生的职业能力。但是我们看到, 高职高专院校所培养的人才与市场上需要的技术应用型人才仍存在差距。那么如何在保证知识体系完整性的同时, 能在教材中体现正在应用的技术、正在发展的技术和前沿的技术成了本套教材探讨的重点, 为此我们在如下几个方面做了努力和尝试。

1. 针对电子类专业基础课程较经典, 及知识点又相对统一、固定的特点, 采取本科老师与高职高专老师合作编写的方式, 借助本科老师在理论方面深厚的功底, 在写作质量上进行把关, 高职高专老师则发挥其熟悉职业教育教学需求的优势把握教材的广度与深度, 力图解决专业基础课程理论与应用相结合的目的。

2. 高职高专教育培养的人才面向生产、管理第一线的技术型人才, 基础课程的教学应以必需、够用为原则, 以掌握概念、强化应用为教学重点, 注重岗位能力的培养。本套教材在保证基本知识点讲解的同时, 掌握“突出基本概念, 注重技能训练, 强调理论联系实际, 加强实践性教学环节”的原则, 在内容安排上避免复杂的数学推导和计算。

3. 专业课程引入工程实例, 强化培养职业能力。让学生了解在实际工作中利用单片机和 PLC 做项目的流程, 并通过一系列小的实例逐步让学生产生学习兴趣, 并了解开发过程, 最后通过一个大的完整案例对学生进行综合培训, 从而达到对职业能力的培养。

以上这些仅是高职高专教材出版的初步。如何配合学校做好为国家培养人才的工作, 出版高质量的教材将是我们不断追求和奋斗的目标。

我们衷心希望, 关注高等职业教育的广大读者能对本套教材的不当之处给予批评指正, 提出修改意见, 同时也热切盼望从事高等职业教育的老师、企业专家和我们联系, 共同探讨相关专业的教学方案和教材编写等问题。来信请发至 zhaohuijun@ptpress.com.cn。

21 世纪高职高专电子技术规划教材编委会
2005 年 8 月

编 者 的 话

在现代工业、农业、军事、科学技术领域及日常生活中,电工技术有着极其广泛的应用。

本书根据近年来电子技术发展的情况,根据“够用为度,注重实践”的原则,将电路和电工技术前后呼应地融为一体,分散难点,加强重点,力求基本概念由浅入深表述清楚、语言精练准确;注意避开高深难懂的理论推导,使其剖析浅显易懂;把握教材内容的实用性,体现电工技术的先进性和前瞻性,较好地反映和适应电工技术发展的现状和趋势。教材体现的教学内容及组织体系,凝聚了作者多年来进行教学研究和教学改革的经验 and 体会,教学的可操作性和适用性很强。

本书的每一章前都有“学习目的和要求”,章后精心编排了体现教学主要知识点的题库式检测题;教材的每一节前均有指导性的“学习目标”,节后设有与学习目标紧密相关的“检验学习结果”;在理论联系实际上编排了与学习内容相关的“技能训练”。为了达到更为理想的教学和学习,编者精心制作了与教材相配套的多媒体教学课件,课件主体是教学中极易操作的 PowerPoint 形式,其中采用了大量的电子器件实物图以加强学习者的感性认识;编排了形象、生动的动画演示,强化了读者对教材中重点、难点的认识;组织了较多的例题、练习题、思考题以促进教学互动,是教师教学和读者自学的良好帮手。

教材共分 10 章,其中第 1 章~第 3 章是电路分析部分,也是实用电路分析的基础,是能否掌握后面电工技术和电子技术的关键,由曾令琴编写,建议教学时数不少于 22 学时;第 4 章~第 10 章为电工技术部分,内容可根据各专业的需要进行选择,其中第 4 章建议 4 学时,第 5 章建议 6 学时,由胡修池编写;第 6 章建议 8 学时,由杨笋编写;第 7 章建议 8 学时,由贾磊编写;第 8 章建议 2 学时,第 9 章作为自学部分,由翟志华编写。第 10 章作为自学部分,或在实践教学环节中简介,由张天朋编写。各章建议学时中均包含实验环节。

教材由曾令琴、胡修池担任主编,策划了全书内容及组织结构。对于书中出现的不妥和错漏之处,敬请广大读者批评指正。

编 者
2006 年 9 月

目 录

第 1 章 电路分析基础	1
1.1 电路分析基础知识	1
1.2 电气设备的额定值及电路的工作状态	9
1.3 线性电路元件及其伏安特性	11
1.4 电路定律及电路基本分析方法	17
1.5 电路中的电位及其计算	24
第 1 章检测题	28
第 2 章 单相正弦交流电路	31
2.1 单相交流电路的基本概念	31
2.2 正弦交流电的相量表示法	36
2.3 单一参数的正弦交流电路	38
2.4 多参数组合的正弦交流电路	48
第 2 章检测题	58
第 3 章 三相交流电路	61
3.1 三相电源的连接方式	61
3.2 三相负载的连接方式	64
3.3 三相电路的功率	70
第 3 章检测题	74
第 4 章 磁路与变压器	77
4.1 铁芯线圈、磁路	77
4.2 变压器的基本结构和工作原理	83
4.3 实用中的常见变压器	87
第 4 章检测题	93
第 5 章 交流电动机	95
5.1 电动机概述	95
5.2 三相异步电动机的结构和工作原理	98
5.3 三相异步电动机的运行特性	105
5.4 三相异步电动机的控制	108
5.5 三相异步电动机的选择	115
5.6 步进电动机简介	116
第 5 章检测题	117
第 6 章 直流电动机	120
6.1 直流电动机的结构原理	120

6.2	直流电动机的基本工作原理	124
6.3	直流电动机的机械特性	126
6.4	直流电动机的控制	128
6.5	直流特种电动机简介	132
第6章检测题		135
第7章	电气设备及低压电器控制电路	138
7.1	发配电概述	138
7.2	电气设备	144
7.3	常见低压电气控制电路	151
7.4	可编程控制器与传感器简介	157
第7章检测题		158
第8章	安全用电	161
8.1	家庭安全用电	161
8.2	保护接地和保护接零	165
8.3	防雷保护	170
第8章检测题		173
第9章	照明电路	175
9.1	电气照明和电光源	175
9.2	工厂照明简介	183
第9章检测题		186
第10章	实用电工测量	187
10.1	电工仪表的基本知识	187
10.2	电工技术中的测量	192
第10章检测题		200
参考文献		202

第 1 章

电路分析基础

直流电路是电路的最基本形式，直流电路中的一些定律与定理在其他应用电路中同样适用。掌握直流电路的分析方法，是研究其他电路的基础。

直流电路中的很多内容在高中物理课程中已经讲过，但物理学分析问题的侧重点在于通过对物理现象的剖析，将自然科学的基础知识介绍给学生，而电工电子技术课程则不同，在阐述问题时往往从工程应用的角度出发，侧重于分析和解决与生产实际相关的问题，是实用电工电子技术的基础知识。

本章作为电工电子技术课程的重要理论基础，从工程应用的角度上将对电路参量、电路变量、电气设备额定值及电路状态，欧姆定律和基尔霍夫定律等问题进一步深入阐述和探讨。要求学习者能够深刻领会，在理解的基础上掌握电路的分析方法，为后面各章的学习打下良好的基础。

学习目的和要求 正确理解电路的基本概念及理想电路元件、电路模型在电路分析中的作用，熟悉电路的组成及其功能；了解电气设备额定值的概念，熟悉电路常见的三种状态及其特点；深刻理解参考方向在电路分析中的作用；掌握电路中电压和电位的不同点及测量方法；理解和掌握基尔霍夫定律及其应用；熟悉求解电路中某点电位的解题思路。

1.1 电路分析基础知识

学习目标

了解导体、绝缘体和半导体的概念及物质结构的区别；熟悉电路的基本组成及各部分作用；从工程应用的角度上重新理解电压、电流、电功率等；掌握电压、电流参考方向在电路分析中的作用；掌握测量电压、电流的技能及两种电表扩大量程的方法。

1. 导体、绝缘体和半导体

自然界的一切物质都是由原子、分子组成的。原子又由一个带正电的原子核和在它周围高速旋转着的带有负电的电子组成。不同的原子，其原子核内部结构和它周围的电子数量也各不相同。物质原子最外层电子数量的多少，往往决定着该种物质的导电性能。按照物质导电性能的不同，自然界的物质大体可分为三大类：

(1) 导体

最外层电子数通常是 $1\sim3$ 个, 且距原子核较远, 受原子核的束缚力较小。由于外界影响, 最外层电子获得一定能量后, 极易挣脱原子核的束缚而游离到空间成为自由电子。因此, 导体在常温下存在大量的自由电子, 具有良好的导电能力。常用的导电材料有银、铜、铝、金等。

(2) 绝缘体

最外层电子数往往是 $6\sim8$ 个, 且距原子核较近, 受原子核的束缚力较强, 其外层电子不易挣脱原子核的束缚, 因而绝缘体在常温下具有极少的自由电子, 导电能力很差或几乎不导电。常用的绝缘材料有橡胶、云母、陶瓷等。

(3) 半导体

最外层电子数一般为 4 个, 在常温下存在的自由电子数介于导体和绝缘体之间, 因而在常温下半导体的导电能力也介于导体和绝缘体之间。虽然半导体的导电性能并没有导体的导电性能好, 但在外界条件发生变化时, 其导电能力将随之变化很大; 当掺入某些杂质后, 半导体的导电能力还会成千上万倍增大。由于半导体本身的这些特殊性, 使半导体材料的应用越来越广泛, 常用的半导体材料有硅、锗、硒等。

由上述各类物质的导电性能可知, 导体可使电流顺利通过, 因此传输电流的导线芯都采用导电性能良好的铜、铝制成。绝缘体阻碍电流通过, 所以导线外面通常包一层橡胶或塑料等绝缘材料, 作为导线的保护, 使用时比较安全。实际上导体和绝缘体之间并没有绝对的界限, 而且条件变了还可以转化。例如导体氧化后其导电性能变差。甚至不导电; 而绝缘体所受温度增高或湿度增大时, 绝缘性能也会变差。实用中常说的电气设备漏电现象, 实质上就是绝缘性能下降所造成的。当绝缘体受潮或受到高温、高压时, 还有可能完全失去绝缘能力而成为导体。我们把这种现象称为绝缘击穿。

2. 电路的组成与功能

电流所经过的路径称为电路。把一些电气设备或元器件用导线连成的网络统称为电路, 电流通过这些网络时, 能够按照人们的实际需求, 实现一定的功能。

(1) 电路的组成

电路通常由电源、负载和中间环节三部分组成。

电源: 向电路提供电能的设备, 如发电机、信号源、电池等。

负载: 在电路中消耗电能的设备, 如电灯、电炉、空调、电动机等, 负载是各类用电器的统称。

中间环节: 把电源和负载连成通路的导线, 控制电路通断的开关, 监测和保护电路的控制设备及仪器仪表设施, 统称为中间环节。

(2) 电路的功能

实际电路的种类繁多, 形式和结构也各不相同, 但根据其完成功能的不同通常可分为两种应用电路: 一是电力系统的应用电路, 一般由发电机、变压器、开关、电动机等元件用导线连接而成, 主要功能是对发电厂发出的电能进行传输、分配和转换等; 二是电子技术的应用电路, 常由电阻、电容、二极管、晶体管、集成芯片等元件用导线连接而成, 主要功能是实现对各种电信号、传输数据的储存和处理等。

电力系统的应用电路是用来传送电能的强电电路,特征是电源波形较单一和低频率、大容量;电子技术的应用电路是产生、处理或传送信号的弱电电路,其特征是信号波形复杂且高频率,小容量。

3. 电路模型和电路元件

实际电路在结构、外形和材料等方面都具有各自的特点,是看得见摸得着的非常具体的各种电气部件的组合,这些实际电气部件的电磁特性通常是多元的、复杂的。为了便于对实际电路的复杂电磁特性进行分析和计算,电学中往往对实际电路采用“模型化”处理:排除实际电路中与电路性态和功能影响不大的次要因素,抓住能体现实际电路性态和功能的主要电磁特性,用统一规定符号表示的理想电路元件及其组合来近似模拟实际电路中各元器件和设备器件端钮上的电磁特性,再根据这些器件的连接方式,用理想导线将模拟的理想电路元件进行并联或串联,就得到该电路的电路模型。

电路模型中的理想电路元件简称电路元件,其电磁特性单一、精确。例如电阻元件只具有耗能的电特性,电感元件只具有储存磁场能量的电特性,电容元件只具有储存电场能量的电特性。以电路元件代替实际的电路器件,可以突出主要矛盾,使电路的分析与设计简单化。

一个实体电路元器件的电磁特性往往多元而复杂,仅用一个电路元件进行模拟常难以确切表述其真实电特性,这时就需要用几个电路元件串、并联后的电路模型来模拟这一实体电路元器件的真实电特性,例如工频交流电路中的电感线圈,可用电阻元件和电感元件的串联组合作为其电路模型,其中电阻元件反映了线圈通电发热的电特性,电感元件反映了线圈在交变电路中储存磁场的电特性。电路模型的构成和复杂程度,一般视实际应用电路分析精度的要求而定。

电路分析中常见的电路元件有电阻元件 R 、电感元件 L 、电容元件 C 、电压源 U_s 、电流源 I_s 等,当它们的参数均为常数时,称为线性元件,这些线性元件都有两个外接引出端子,统称为二端元件。理想的二端元件有无源二端元件和有源二端元件两大类,其电路图符号及文字符号如图 1-1 所示。

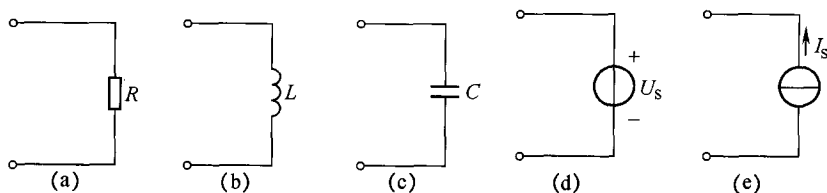


图 1-1 理想电路元件

(a) 图所示为电阻元件。电阻元件是实际电路中耗能特性的抽象和反映。所谓耗能,指的是元件吸收电能转换为其他形式能量的过程是不可逆的。由于电阻元件只向电路吸收和消耗能量,不可能给出能量,因此电阻元件属于无源二端元件。

(b) 图所示为电感元件。电感元件是实际电路中建立磁场、储存磁能电特性的抽象和反映。电感元件在电路中只进行能量交换而不耗能,也属于无源二端元件。

(c) 图所示为电容元件。电容元件是实际电路中建立电场、储存电能电特性的抽象和反映。电容元件在电路中只进行能量交换而不耗能,同样属于无源二端元件。

(d) 图所示为理想电压源, 简称电压源。电压源是以电压方式对电路供电的实际电源的电路模型和抽象。电压源供出的电压值恒定, 电压源对外供出的电流由它和与它相连的外电路共同决定, 显然电压源属于有源二端元件。

(e) 图所示为理想电流源, 简称电流源。电流源是以电流方式对电路供电的实际电源的电路模型和抽象。电流源对外电路供出的电流值恒定, 电流源两端的电压由它和与它相连的外电路共同决定, 与电压源相同, 电流源也是有源二端元件。

图 1-2 (a) 所示是常用的手电筒电路, 实际元件有干电池、小电珠、开关和筒体。图 1-2 (b) 是手电筒的电路模型: 电阻 R 是小电珠的电路抽象, 理想电压源 U_S 和与其相串联的电阻 R_S 是干电池的电路抽象, 导线和开关 S 这些中间环节是筒体的电路抽象。

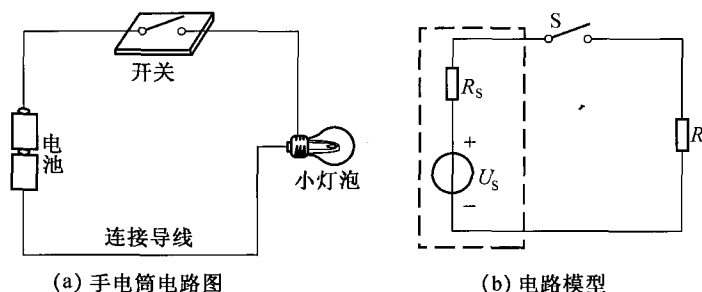


图 1-2 手电筒电路及其电路模型

必须指出的是, 电路在进行上述模型化处理时是有条件的。前提是: 实际电路中各部分的基本电磁现象可以分别研究, 并且相应的电磁过程都集中在电路元件内部进行。换句话说, 就是假定电阻的消耗、磁场的储能、电场的储能分别集中在 R 、 L 、 C 三种元件中, 三种现象可以分开研究而不是混为一谈, 这样的元件简称集中元件, 这种假设称为集中假设。

电路中电流电压的出现, 就其实质来说, 均为电磁波传播的结果。电磁波传播的速度为 $3 \times 10^8 \text{m/s}$, 和光速相同。这样长的波长与任何实际的电路元器件尺寸相比, 后者都是微不足道的。在这种情况下电路上各点的电场强度处处相等, 因此, 流进电路元器件一端的电流必定等于它另一端流出的电流, 电路元器件两端的电压也可以准确测出, 就元器件本身的功能而言, 仿佛集中在电路的一点, 表征其性质的参数也集中在这一点上, 所以称为集中参数电路。

在工程应用中, 为保证集中参数电路有效地描述实际电路, 获得有意义的分析效果, 要求实际电路的几何尺寸远小于工作电磁波的波长。电路分析理论都是以集中假设为基本前提, 只有集中参数元件的实际电路也才可以模型化处理, 电路理论的一切分析方法均以此为基础。

4. 电路中的电压、电流及其参考方向

无论是电能的传输或转换电路, 还是信号的传递和变换电路, 其中电源或信号源向电路输入的电压和电流起推动电路工作的作用, 称为激励。激励在电路中各部分引起的电压和电流输出称为响应。对一个实际电路进行分析的过程实质上就是分析激励和响应之间的关系。为此, 我们必须对电路中的电压和电流有一个明确的认识。

电压和电流的概念在高中物理学中已经讲过, 在学习电学的过程中, 应注意从工程应用的角度重新对电压和电流加以理解。

(1) 电流

导体中存在大量的自由电子,当导体两端处在外电场作用下时,导体内的自由电子就会定向移动而形成电流。电流的大小通常用电流强度来描述,定义式为

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

其中电量 q 的单位是库仑[C],时间 t 的单位是秒[s],电流 i 的单位是安培[A]。

电流的大小和方向均不随时间变化时为稳恒直流电,简称直流电。表达式可改写为

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

注意电学中各量的表示方法及正确书写:按照惯例,不随时间变动的恒定电量或参量用大写字母表示,如直流电压和电流分别用“ U 、 I ”表示;随时间变动的电量或参量通常用小写字母表示,如交变电压和电流分别用“ u 、 i ”表示。

电力系统中某些电流可高达几千安培,电子技术中的电流往往仅为千分之几安培,因此电流的单位还有毫安[mA]、微安[μ A]和纳安[nA]等,电流各单位之间的换算关系为

$$1\text{A} = 10^{-3}\text{kA} = 10^3\text{mA} = 10^6\mu\text{A} = 10^9\text{nA}$$

习惯上把正电荷定向移动的方向规定为电流的方向。

(2) 电压

电路中两点电位的差值称为电压,电压是产生电流的根本原因。这和水路中形成水流的原因是由于水路中存在水位差类似。电灯之所以被点燃,是因为在它两端加上了 220V 的电压。电压的大小显然反映了电路中电场力作功的本领,定义式表述为

$$u_{ab} = \frac{dw_{ab}}{dq} \quad (1-3)$$

式中电功 w 的单位是焦耳[J],电量 q 的单位是库仑[C],电压 u 的单位是伏特[V]。

在大小和方向都不随时间变化的直流电路中,电压用“ U ”表示。电学中规定电压的实际方向由电位高的“+”端指向电位低的“-”端,即电位降低的方向。

强电领域中的电压通常用伏[V]和千伏[kV]表示,弱电领域中的电压通常用伏[V]和毫伏[mV]表示,各单位之间的换算关系为

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

(3) 电流、电压的参考方向

在分析和计算较为复杂的电路时,某些支路电流或元件端电压的实际方向和真实极性往往难以事先判断,造成我们在对电路列写方程式时,无法判断这些电压、电流在方程式中的正、负号。为解决这一难题,电学中通常采用参考方向的方法:在待分析的电路模型图中预先假定出各支路电流或各元件两端电压的方向和极性,称为参考方向。支路电流的参考方向一般用带箭头的线段标示,元件端电压的参考方向一般用“+”“-”号标示(也可用带箭头线段表示,箭头方向应为从“+”到“-”的方向)。依据这些参考方向,可方便地确定出各支路电流及其元件端电压在方程式中的正、负号。

参考方向原则上可以任意假定。因此参考方向不一定与各电流、电压的实际方向相符,但是这并不影响我们求解电路的结果。依据电路图上标示的电压、电流参考方向,列写出相

关电路方程式对电路进行分析、计算，如果计算结果为正值时，表明选定的参考方向与其实方向相同；若计算结果为负值，则表示电路图上假设的参考方向与实际方向相反。这是计算电路的一条基本原则。

注意：只有在电压、电流参考方向选定之后，方程式中各量的正负取值才有意义。

例如，在图 1-3 所示的电路中，元件的电压、电流参考方向已经标出，若已知（a）图中电流 $I = 5\text{A}$ ， $U = -10\text{V}$ ，电流在参考方向下是正值，说明电流的实际方向与图中参考方向相同；电压是负值，表明电压的实际方向与图中参考方向相反。



图 1-3 电压、电流参考方向

电路分析中，规定电流沿电位降低方向取向时为“关联参考方向”；即电流与电压取向一致时的参考方向为关联参考方向。这种约定比较自然合理，例如图 1-3（a）中电压、电流取关联参考方向，说明我们把图中元件假定为负载元件，应用欧姆定律或功率计算式时，方程式各量前面均取正号，这样可以减少出错的机会。图 1-3（b）元件两端电压和通过元件的电流参考方向非关联，说明我们把该元件假定为一个电源元件。

5. 电能、电功率和效率

（1）电能

电流所具有的能量称为电能。电能可以用电度表来测量，其国际单位制是焦耳[J]，常用的单位是度[kW·h]，二者之间的单位换算关系为

$$1\text{kW} \cdot \text{h} (\text{度}) = 3.6 \times 10^6 \text{J} (\text{焦})$$

电能转换为其他形式能量的过程实际上就是电流做功的过程，因此电能的多少可以用电功来量度。电功的计量公式为

$$W = UIt \quad (1-4)$$

式（1-4）中电压 U 的单位取伏特[V]，电流 I 的单位取安培[A]，时间 t 的单位取秒[s]时，电能（电功）的单位为焦耳[J]；实用中，电度表是用“度”来表示的，当电压 U 的单位取千伏[kV]，电流 I 的单位取安培[A]，时间 t 的单位取小时[h]时，电能的单位就是度[kW·h]。上式表明：在用电器两端加上电压，就会有电流通过用电器，通电时间越长，电能转换为其他形式的能量越多，电流做的功也就越大；若通电时间短，电能转换就少，电流做的功相应也小。

实际生活中经常听到一句话：“节约一度电，支援国家基本建设”。这里所说的一度电，其概念可以解释为：1kW 的电动机满载使用一小时消耗的电能；100W 的灯泡点燃 10h 所消耗的电能；25W 的电烙铁连续使用 40h 所消耗的电能。

（2）电功率

在电工技术中，电流在单位时间内消耗的电能（或电流在单位时间里所做的功）称为电功率，用“ P ”表示，即

$$P = \frac{W}{t} = \frac{UIt}{t} = UI \quad (1-5)$$

电功率的单位是瓦特[W]和千瓦[kW]。各类用电器铭牌上标示的瓦特数就是表征用电器本身能量转换本领的参数。例如额定功率为 100W 的白炽灯,说明此灯每秒钟可以把 100J 的电转换成光能和热能;额定功率为 40W 的白炽灯,则表明它每秒钟只能把 40J 的电转换成光能和热能。显然额定功率大的用电器,能量转换的本领强。

(3) 效率

电路在转换和输送电能的过程中,总是存在着热量损耗或其他一些损耗,因此输出的功率与输入的功率不等。我们把输入功率用“ P_1 ”表示,把输出功率用“ P_2 ”表示时,实际电路中 P_2 总是要小于 P_1 的。工程应用中,通常把输出功率 P_2 与输入电功率 P_1 比值的百分数称为效率,并用希腊字母“ η ”表示,即

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \times 100\% = \frac{P_2}{P_2 + \Delta P} \times 100\% \quad (1-6)$$

【例 1.1】 已知 0.2s 内通过某一导体横截面的电荷是 0.4C,电流做功为 1.2J,问通过导体的电流为多少安培?导体两端电压为多少伏?当导体两端的电压增加至 6V 时,求导体的电阻为多少欧?

【解】 由电流定义式可得:

$$I = \frac{Q}{t} = \frac{0.4}{0.2} = 2\text{A}$$

导体两端电压:

由电功的公式 $W=UIt$, 可得:

$$U = \frac{W}{It} = \frac{1.2}{2 \times 0.2} = 3\text{V}$$

导体的电阻由导体自身来决定,通常不随外加电压变化,因此可由欧姆定律得出:

$$R = \frac{U}{I} = \frac{3}{2} = 1.5\Omega$$

【例 1.2】 如果在图 1-4 (a) 中, $U=12\text{V}$, $I=-5\text{A}$; (b) 中 $U=12\text{V}$, $I=5\text{A}$; 问元件实际发出还是吸收功率? 各为多少?

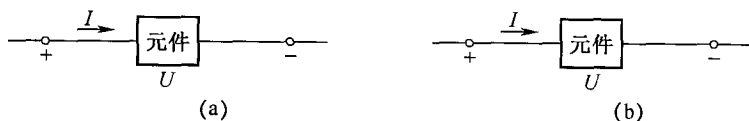


图 1-4 例 1.2 电路图

【解】 (a) 图: 电压与电流取关联参考方向, 因此

$$P = UI = 12 \times (-5) = -60\text{W}$$

电功率得负值, 说明元件实际向外发出功率。

(b) 图: 电压与电流取非关联参考方向, 因此

$$P = -UI = -12 \times 5 = -60\text{W}$$

电功率为负值, 说明元件实际上也是发出功率。

检验学习结果

1. 电路由哪几部分组成？电路的功能如何？
2. 电路元件与实体电路元器件有何不同？何谓电路模型？
3. 在电路中已经定义了电流、电压的实际方向，为什么还要引入参考方向？参考方向与实际方向之间有何区别和联系？
4. 在图 1-5 中，5 个二端元件分别代表电源或负载。其中的 3 个元件上电流和电压的参考方向已标出，在参考方向下通过测量得到： $I_1 = -2\text{A}$ ， $I_2 = 6\text{A}$ ， $I_3 = 8\text{A}$ ， $U_1 = 120\text{V}$ ， $U_2 = -80\text{V}$ ， $U_3 = 30\text{V}$ 。试判断哪些元件是电源？哪些是负载？

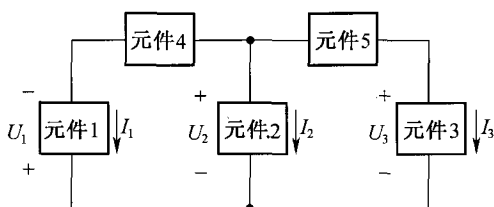


图 1-5 检验题 4 电路图

技能训练 学习色环电阻标称阻值判别方法。

取出一只电阻，观察其外部的色环，每条色环的意义见表 1-1 所示。

表 1-1 电阻色环的表示意义

颜色	Color	第 1 数字	第 2 数字	第 3 数字 (5 环电阻)	Multiple 乘数	Error 误差
黑	Black	0	0	0	$10^0=1$	
棕	Brown	1	1	1	$10^1=10$	$\pm 1\%$
红	Red	2	2	2	$10^2=100$	$\pm 2\%$
橙	Orange	3	3	3	$10^3=1000$	
黄	Yellow	4	4	4	$10^4=10\ 000$	
绿	Green	5	5	5	$10^5=100\ 000$	$\pm 0.5\%$
蓝	Blue	6	6	6		$\pm 0.25\%$
紫	Purple	7	7	7		$\pm 0.1\%$
灰	Grey	8	8	8		
白	White	9	9	9		
金	Gold	注：第 3 数字是五色环电阻才有！			$10^{-1}=0.1$	$\pm 5\%$
银	Silver				$10^{-2}=0.01$	$\pm 10\%$

色环表格左边第 3 列表示色环电阻第 1 圈颜色所代表的一位数字；第 4 列表示色环电阻第 2 圈所代表的一位数字；第 5 列只有 5 环电阻才具有的第 3 圈所代表的一位数字；右起第 2 列表示色环电阻的倍乘，由 4 环电阻的第 3 圈和 5 环电阻的第 4 圈颜色来判断；右边 1 列由色环电阻中边缘处较粗的色环来识别，表示电阻值的误差范围。

识别方法：例如一个 4 环电阻，第一个色环为绿色表示 5，第 2 个色环为红色表示 2，

第3个色环为黑色表示乘 10^0 ，第4个色环为金色，那么表示该电阻的阻值误差为 $\pm 2\%$ 。则图示色环电阻的标称值是 $52 \times 10^0 = 52\Omega$ ，误差为 $\pm 2\%$ 。

根据教师提供的色环电阻，学生可反复练习其标称值的识别方法。

1.2 电气设备的额定值及电路的工作状态

学习目标

理解电气设备额定值的概念；熟悉电路的三种状态及其特点；了解电源的外特性。

1. 电气设备的额定值

电气设备的额定值是根据设计、材料及制造工艺等因素，由制造厂家给出的设备各项性能指标和技术数据。按照额定值使用电气设备时，安全可靠且经济合理。

电气设备的额定电功率，是指用电器加额定电压时产生或吸收的电功率。电气设备的实际功率指用电器在实际电压下产生或吸收的电功率。铭牌数据上电气设备的额定电压和额定电流，均为电气设备长期、安全运行时的最高限值。

任何一种电气设备和元件都有各自的额定电压和额定电流，对电阻性负载而言，其额定电流和额定电压的乘积就等于它的额定功率。例如额定值为“220V、40W”的白炽灯，表示此灯两端加220V电压时，其电功率为40W；若灯两端实际电压为110V时，此灯上消耗的实际功率只有10W。

一般情况下：当实际电压等于额定电压时，实际功率才等于额定功率，额定功率下用电器的工作情况我们称之为正常工作状态；当用电器上加的实际电压小于额定电压时，用电器上的实际功率小于额定功率，此时用电器不能完全发挥其正常使用效能，通常称为非正常工作状态；若用电器上加的实际电压大于额定电压时，实际功率将大于额定功率，用电器非但不能正常工作，而且可能因过热而被烧坏，这种工作状态称为电器使用的禁止态。

因此，只有当用电器两端的实际电压等于或稍小于它的额定电压时，用电器才能安全使用。

2. 电路的三种工作状态

电路的工作状态有三种：通路、开路和短路，如图1-6所示。

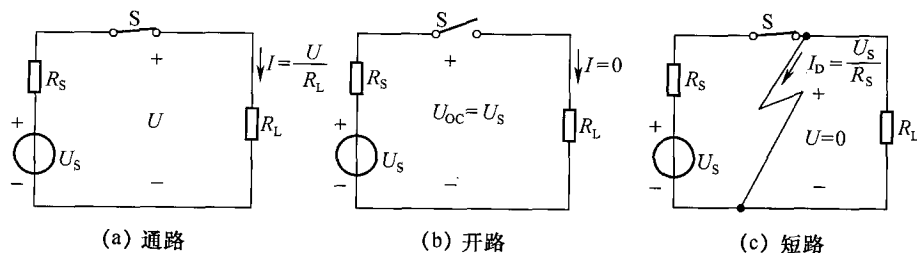


图1-6 电路的三种工作状态