



全国高等职业教育规划教材

实用电路基础

袁明波 高霞 刘青 杨立峰 编著

- 编写形式新颖活泼、易学实用
- 文字叙述简明扼要，通俗易懂
- 内容编排以实用、必须和够用为原则，与职业技能应用密切相关
- 基本理论知识采用广而不深、点到为止的原则，基本技能贯穿教学的始终



电子教案下载网址 www.cmpedu.com



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

本书共分为7个单元,系统讲述了电路的基本概念、基本理论、基本分析和计算方法。主要内容包括电路的基本知识和简单直流电路的分析、复杂直流电路的分析、动态电路的分析、正弦交流电路的分析、谐振电路的分析、互感耦合电路的分析和Multisim简介。每个单元都以情景导入方式展开,且融入了现代计算机仿真软件Multisim的使用,可以增强学生的感性认识。

本书内容条理清晰、详尽实用、叙述简练、浅显易懂,注重对典型电路的分析计算,方法得当、步骤清楚、讲解通俗易懂。

本书可作为高等职业院校电子类、电气类、通信类、机电类、自控类、自动化类等专业的电路课程教材,也可供其他专业学生以及职业技术教育、技术培训和工程技术人员学习参考。

本书配套授课电子教案,需要的教师可登录 www.cmpedu.com 免费注册、审核通过后下载,或联系编辑索取(QQ: 1239258369, 电话: 010-88379739)。

图书在版编目(CIP)数据

实用电路基础/袁明波等编著. —北京:机械工业出版社, 2012. 12
全国高等职业教育规划教材
ISBN 978-7-111-41070-6

I. ①实… II. ①袁… III. ①电路理论—高等职业教育—教材
IV. ①TM13

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第318990号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑:王颖 版式设计:张薇

责任校对:肖琳 责任印制:张楠

北京交通印务实业公司印刷

2013年4月第1版第1次印刷

184mm×260mm·13.25印张·326千字

0001—3000册

标准书号:ISBN 978-7-111-41070-6

定价:29.90元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066 教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010) 68326294 机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010) 88379649 机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010) 88379203 封面无防伪标均为盗版

全国高等职业教育规划教材 电子类专业编委会成员名单

主 任 曹建林

副 主 任 张中洲 张福强 董维佳 俞 宁 杨元挺 任德齐
华永平 吴元凯 蒋蒙安 祖 炬 梁永生

委 员 (按姓氏笔画排序)

于宝明	尹立贤	王用伦	王树忠	王新新	任艳君
刘 松	刘 勇	华天京	吉雪峰	孙学耕	孙津平
孙 萍	朱咏梅	朱晓红	齐 虹	张静之	李菊芳
杨打生	杨国华	汪赵强	陈子聪	陈必群	陈晓文
季顺宁	罗厚军	胡克满	姚建永	钮文良	聂开俊
夏西泉	袁启昌	郭 勇	郭 兵	郭雄艺	高 健
曹 毅	章大钧	黄永定	曾晓宏	谭克清	戴红霞

秘 书 长 胡毓坚

副秘书长 蔡建军

出版说明

根据《教育部关于以就业为导向深化高等职业教育改革的若干意见》中提出的高等职业院校必须把培养学生动手能力、实践能力和可持续发展能力放在突出的地位,促进学生技能的培养,以及教材内容要紧密结合生产实际,并注意及时跟踪先进技术的发展等指导精神,机械工业出版社组织全国近60所高等职业院校的骨干教师对在2001年出版的“面向21世纪高职高专系列教材”进行了全面的修订和增补,并更名为“全国高等职业教育规划教材”。

本系列教材是由高职高专计算机专业、电子技术专业和机电专业教材编委会分别会同各高职高专院校的一线骨干教师,针对相关专业的课程设置,融合教学中的实践经验,同时吸收高等职业教育改革的成果而编写完成的,具有“定位准确、注重能力、内容创新、结构合理和叙述通俗”的编写特色。在几年的教学实践中,本系列教材获得了较高的评价,并有多品种被评为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。在修订和增补过程中,除了保持原有特色外,针对课程的不同性质采取了不同的优化措施。其中,核心基础课的教材在保持扎实的理论基础的同时,增加实训和习题;实践性较强的课程强调理论与实训紧密结合;涉及实用技术的课程则在教材中引入了最新的知识、技术、工艺和方法。同时,根据实际教学的需要对部分课程进行了整合。

归纳起来,本系列教材具有以下特点:

- 1) 围绕培养学生的职业技能这条主线来设计教材的结构、内容和形式。
- 2) 合理安排基础知识和实践知识的比例。基础知识以“必需、够用”为度,强调专业技术应用能力的训练,适当增加实训环节。
- 3) 符合高职学生的学习特点和认知规律。对基本理论和方法的论述要容易理解、清晰简洁,多用图表来表达信息;增加相关技术在生产中的应用实例,引导学生主动学习。
- 4) 教材内容紧随技术和经济的发展而更新,及时将新知识、新技术、新工艺和新案例等引入教材。同时注重吸收最新的教学理念,并积极支持新专业的教材建设。
- 5) 注重立体化教材建设。通过主教材、电子教案、配套素材光盘、实训指导和习题及解答等教学资源的有机结合,提高教学服务水平,为高素质技能型人才的培养创造良好的条件。

由于我国高等职业教育改革和发展的速度很快,加之我们的水平和经验有限,因此在教材的编写和出版过程中难免出现问题和错误。我们恳请使用这套教材的师生及时向我们反馈质量信息,以利于我们今后不断提高教材的出版质量,为广大师生提供更多、更适用的教材。

机械工业出版社

前 言

“实用电路基础”是高等职业院校为电子类、自动化类等相关专业开设的一门重要的技术基础课程。它的主要任务是为学生掌握基本专业知识和从事相关工程技术工作打好电路理论基础，为后续技术基础课和专业课的学习准备必要的基础知识。为此，编者在本书中着重加强电路基本概念、基本定理定律和基本分析方法的系统阐述，并精选传统基本内容，适度反映科技新内容，讲究教学方法，具有专业适用面宽、适用自学和教学等特色 and 风格。

目前，电子类专业基础课已面临教学课时压缩、但讲授内容基本不变的新情况，这就意味着在教学中应给予学生更多的思考空间，而不是简单地简化讲述。为了使学生在有限的学时内掌握该课程的基本结构和主要内容，应使学生从被动学习转变为主动学习，教师也应顺应这一变化转变为学习过程的引导者、促进者、支持者。为了适应这种变革，编者从工程应用和课程体系完整的角度出发，坚持贯彻“保证基础、精选内容、推陈出新、利于教学”的方针，以删繁就简、易学够用为原则，在多年教学实践的基础上，经过反复修改后编写完成本书。

本书在编写过程中对课程的结构进行了优化和精选，合理划分了各章节的前后顺序和所包含的内容，尽量避免相同内容在不同章节中重复出现，弱化定理、定律的数学推导，强化定理的具体应用，加强与基本概念和原理相关的例题和习题，增加了 Multisim 仿真软件的使用，让学生更能感性认识电路性能、验证定理和定律，减少电路分析中的计算量，以助于学生熟悉相关的电路实验。

本书内容阐述详尽、条理清晰、浅显易懂。每个单元的开头都以情景导入方式引出本单元所涉及的主要内容，从而激发学生的学习兴趣；而每一节的开头则将本节所介绍的知识要点、重点和难点以学习任务的形式列写出来，便于学生掌握；每单元后面配有单元回顾、思考与练习，便于学生复习。本书共由 7 个单元组成，系统讲述了电路的基本知识和简单直流电路的分析、复杂直流电路的分析、动态电路的分析、正弦交流电路的分析、谐振电路的分析、互感耦合电路的分析和 Multisim 的简介。本书基本涵盖了电子、自控、自动化、通信、计算机等各类高职专业所需要的内容。各类专业可根据学时多少灵活选用，建议讲授课时为 64 ~ 70 学时。

本书由袁明波、高霞、刘青、杨立峰编著。袁明波编写了第 3、6 单元，并负责全书的修改补充与统稿，高霞编写了第 1、4 单元，刘青编写了第 2、7 单元，杨立峰编写了第 5 单元。

在本书的编写过程中得到了许多专家、学者、朋友的帮助与支持，在此深表感谢。

由于编者水平有限以及各种原因，书中疏漏和不妥之处在所难免，恳请同行和广大读者给予批评指正，以便以后修订提高。

编 者

目 录

出版说明

前言

第1单元 电路的基本知识和简单直流电路的分析	1
1.1 电路的基本概念	1
1.1.1 电路的基本组成	1
1.1.2 电路模型	2
1.1.3 电路的工作状态	3
1.2 电路的基本变量	4
1.2.1 电流	4
1.2.2 电压和电位	6
1.2.3 电能和电功率	9
1.3 电路的基本元器件	10
1.3.1 电阻元件	10
1.3.2 电源	12
1.4 串联电路	15
1.4.1 基尔霍夫电压定律	15
1.4.2 电阻的串联和分压	18
1.5 并联电路	19
1.5.1 基尔霍夫电流定律	19
1.5.2 电阻的并联和分流	21
1.6 串并联组合电路	23
1.6.1 混联电路的一般分析方法	23
1.6.2 混联电路等效电阻的求法	23
1.7 电子习惯电路	24
1.8 Multisim 对电路基本规律的仿真分析	25
1.8.1 欧姆定律的仿真分析	25
1.8.2 基尔霍夫电压定律的仿真分析	26
1.8.3 基尔霍夫电流定律的仿真分析	26
1.9 技能训练	26
1.9.1 技能训练1 电位、电压的测定及电路电位图的绘制	26
1.9.2 技能训练2 基尔霍夫定律的验证	28
单元回顾	29
思考与练习	31
第2单元 复杂直流电路的分析	35
2.1 含独立电源网络的等效变换	35
2.1.1 等效的概念	35

2.1.2 理想电源的串联和并联	36
2.1.3 两种实际电源模型的等效变换	38
2.2 支路电流法	41
2.3 节点电压法	43
2.3.1 节点电压方程的一般形式	43
2.3.2 节点电压法的分析步骤	45
2.3.3 弥尔曼定理	47
2.4 网孔电流法	47
2.4.1 网孔电流方程的一般形式	48
2.4.2 网孔电流法的分析步骤	49
2.5 叠加定理	51
2.5.1 叠加定理的内容	51
2.5.2 叠加定理的应用	52
2.6 戴维南定理	53
2.6.1 戴维南定理的内容	53
2.6.2 戴维南定理的应用	54
2.6.3 负载获得最大功率的条件	56
2.7 Multisim 对电路基本定理的仿真分析	58
2.7.1 叠加定理的仿真分析	58
2.7.2 戴维南定理的仿真分析	59
2.8 技能训练	60
2.8.1 技能训练1 叠加定理的验证	60
2.8.2 技能训练2 最大功率传输定理的验证	62
单元回顾	64
思考与练习	66
第3单元 动态电路的分析	70
3.1 电容元件	71
3.1.1 电容元件的基础知识	71
3.1.2 电容元件的连接	73
3.2 电感元件	75
3.3 换路定律	77
3.3.1 换路定律的概念	77
3.3.2 动态电路初始值的确定	78
3.4 用三要素法分析一阶动态电路	79
3.4.1 一阶动态电路的响应规律	79
3.4.2 一阶动态电路的三要素法	86
3.5 一阶动态电路的典型应用	89
3.5.1 微分电路	90
3.5.2 积分电路	91
3.6 Multisim 对一阶电路响应的仿真测试	91
3.6.1 电容器充电和放电的仿真分析	91

3.6.2	一阶电路零输入响应的仿真分析	92
3.6.3	一阶电路零状态响应的仿真分析	92
3.6.4	一阶电路全响应的仿真分析	93
3.7	技能训练 RC 一阶电路的响应测试	93
	单元回顾	96
	思考与练习	97
第4单元	正弦交流电路的分析	100
4.1	正弦交流电的基础知识	100
4.1.1	正弦量的三要素	100
4.1.2	正弦量的相量表示	104
4.2	单一元件的正弦交流电路	107
4.2.1	纯电阻电路	107
4.2.2	纯电感电路	109
4.2.3	纯电容电路	112
4.3	正弦交流电路的分析方法	114
4.3.1	电路基本定律的相量形式	114
4.3.2	阻抗及阻抗的串并联	117
4.3.3	导纳	120
4.4	电阻、电感、电容串联电路	121
4.4.1	电压与电流的关系	121
4.4.2	RLC 串联电路的阻抗	123
4.4.3	RLC 串联电路的功率	124
4.4.4	RLC 串联电路的特例	126
4.5	Multisim 对正弦交流电路的仿真分析	130
4.5.1	正弦电路的基尔霍夫电流定律仿真分析	130
4.5.2	正弦电路的基尔霍夫电压定律仿真分析	131
4.6	技能训练	131
4.6.1	技能训练1 典型信号的认识和测量	131
4.6.2	技能训练2 R 、 L 、 C 元件阻抗特性的测定	133
	单元回顾	135
	思考与练习	137
第5单元	谐振电路的分析	141
5.1	谐振电路	141
5.1.1	串联谐振电路	141
5.1.2	并联谐振电路	144
5.2	谐振电路的选择性和通频带	146
5.2.1	串联谐振电路的选择性和通频带	146
5.2.2	并联谐振电路的谐振曲线与通频带	148
5.3	Multisim 对 RLC 串联谐振回路特性的仿真测试	148
5.4	技能训练 选频网络的设计实现	150
	单元回顾	152

思考与练习	153
第6单元 互感耦合电路的分析	155
6.1 互感及互感电压	155
6.1.1 互感现象	155
6.1.2 互感电压	157
6.1.3 耦合电感上电压与电流的关系	158
6.1.4 同名端	159
6.2 含耦合电感电路的分析	162
6.2.1 耦合电感的串联	162
6.2.2 耦合电感的并联	164
6.2.3 耦合电感的T形连接	166
6.2.4 含有耦合电感电路的计算	169
6.3 变压器	171
6.3.1 空心变压器	171
6.3.2 理想变压器	173
6.4 技能训练 互感电路的观测	178
单元回顾	181
思考与练习	183
第7单元 Multisim 简介	186
7.1 概述	186
7.1.1 功能与特点	186
7.1.2 运行环境的要求	187
7.2 基本操作方法	188
7.2.1 基本操作界面	188
7.2.2 实训电路的生成方法	195
7.2.3 仿真电路的生成方法	199
参考文献	202

第1单元 电路的基本知识和简单直流电路的分析

情景导入

电路是实际电气系统的近似数学模型，它为理论分析实际电路，并给出定量的分析结果提供了重要的依据。电路通常是指实际的电气系统以及它的模型。电路分析就是给定电路结构、元器件的特性、然后求解电路中各部分的电压、电流和功率等。

下面以手电筒为例来简单说明如何构建电路模型。手电筒作为一个实际的电气系统，其主要组件是电池、白炽灯、连接器和开关。为了方便分析手电筒的工作原理，通常要画出它的电路模型，而在画出它的电路模型之前，首先要考虑每一个部件的电路模型。

如果要求的电流不太大，就可以认为干电池具有恒定的端电压，可以用理想电压源来模拟它。白炽灯最终输出光能，消耗电能，可以用一个理想的电阻器来模拟灯泡，并标记为 R_L ；连接器被制成弹簧卷，既为电池和白炽灯之间接触提供了机械压力，又为电池和容器之间提供了一条导电通道，可以用理想电阻器来模拟连接器，并标记为 R_1 ；最后是开关，它有两种状态，即接通或是断开。通过分析，可以画出手电筒的电路模型，如图 1-1 所示。

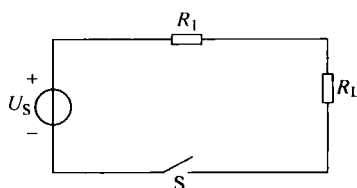


图 1-1 手电筒的电路模型

由上述描述可知，基本电路元器件是构造实际电路系统模型的基础。创建一个元器件或电路系统模型所需的技巧，与求解一个分支电路所需的技巧同样重要。无论是电路模型的建立，还是电路的分析，都需要了解相关的电路知识。本单元主要介绍电路的基本理论知识，重点介绍电路模型、电路变量、电路元器件和电路定理等基础知识。

1.1 电路的基本概念

学习任务

- 1) 理解电路与电路模型的概念。
- 2) 掌握电路的工作状态及其主要特点。

1.1.1 电路的基本组成

1. 电路的作用

在现代电气化、信息化的社会里，电得到了广泛的应用。在电视机、计算机、手机、通信系统和电力网中，可以看到各种各样的实际电路。简单地说，电路是电流流通的路径，它是为实现某种功能由电气设备或元器件按照一定方式连接而成的。这里的电气元器件泛指实际的电路元器件，如电阻器、电容器、晶体管、电感器、变压器等。电路的作用主要有以下几方面：一是进行能量的传输、分配与转换，例如电力系统中的输电线路；二是传输、处理和存储电信号，例如计算机通信电路、扬声器电路。

2. 电路的组成

实际电路组成的方式多种多样。不管电路简单还是复杂，一个完整的电路都是由 3 部分组成，即电源或信号源、负载和中间环节。电源或信号源是向电路提供电能或电信号的装置，其作用是可以将其他形式的能量转换成电能，例如干电池是将化学能转换成电能；负载是消耗电能的装置，例如电灯、电视机等，它们将电能转换成其他形式的能量，如光能、热能、机械能等；中间环节是利用各种元器件将电源和负载连接起来构成的闭合电路，它对整个电路起着传输和分配能量、控制和保护的作用，如电路中常用的导线、开关、熔断器等器件。图 1-2a 所示是前面所提到的手电筒的实际电路。

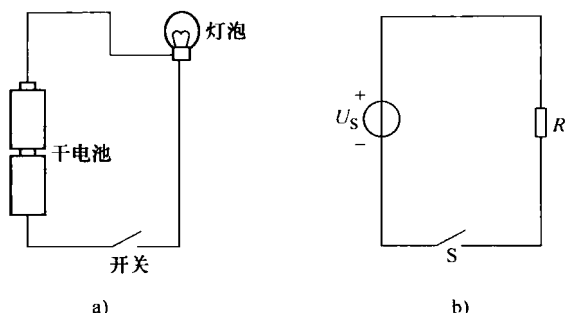


图 1-2 手电筒的实际电路和电路模型

a) 手电筒的实际电路 b) 手电筒的电路模型

电路按元器件性质可分为集中参数电路和分布参数电路。集中参数电路是指电路本身的几何尺寸相对于电路工作频率所对应的波长 λ 小得多，因此在分析电路时可以忽略元器件和电路本身的几何尺寸。例如，我国电力工程的电源频率是 50Hz（对应的波长为 6000km），在这种低频电路中，几何尺寸为几米、几百米甚至几公里的电路都可被视为集中参数电路。分布参数电路是指电路本身的几何尺寸相对于工作波长不可忽略的电路。下面重点学习集中参数线性电路的分析方法。

1.1.2 电路模型

1. 电路的理想元器件

在实际电路中会使用各种各样的电气元器件，这些元器件在电路工作时会表现出非常复杂的电气特性，故直接对实际的元器件或设备构成的电路进行分析和研究往往比较困难。因此，需要对各种实际元器件按其在电路中表现出来的电磁特性进行分类，并加以理想化，即在一定的条件下忽略其次要特性，突出其主要特性，用一个能表征其主要电磁特性的“模型”——理想元器件来表示。例如，一个白炽灯，当有电流通过时主要消耗电能，即具有电阻的性质；其次还会产生磁场，因此兼有电感的性质，但白炽灯的电感是很微小的，可以把它看做一个理想电阻元器件。

2. 电路模型

在引入理想元器件的概念后，实际的电路元器件都可以用能够反映其主要电磁特性的理想元器件来代替，即实际电路都可用理想元器件构成的抽象电路来表示，这样的电路称为电路的“电路模型”。电路模型反映了各种理想元器件在电路中的作用和相互之间的连接方式，并不表示元器件之间的真实几何关系和实际位置。通常对电路的分析和计算是对电路模型而言的。另外，在电路模型中，连接各元器件的导线也被认为是理想元器件，其电阻可忽略不计。图 1-2b 所示是手电筒的电路模型。

将实际电路中的各个元器件用其模型符号画出的图称为实际电路的电路模型图，也称为电路原理图，简称为电路图。电路图是用来说明电气设备之间连接方式的图，用统一规定的

符号来表示。电路图部分常用元器件图形符号如表 1-1 所示。

表 1-1 电路图部分常用元器件图形符号

名 称	图形符号	文字符号	名 称	图形符号	文字符号	名 称	图形符号	文字符号
电阻		R	可变电容		C	电池		E
可调电阻		R	电灯		HL	电压源		U_s
电位器		RP	开关		S	电流源		I_s
空心线圈		L	熔断器		FU	发电机		
铁心线圈		L	接地		GND	电压表		
电容器		C	接机壳		GND	电流表		

需要注意的是，将一个电气元器件理想化是有条件的。在不同的条件下，如果电气元器件表现出不同的特性，那么它的模型也不一样，构成的电路模型也就不同。本书后面提到的电路，除特别说明外，都指电路模型，其中的元器件都为理想元器件。

1.1.3 电路的工作状态

电源与负载相连接。根据所接负载的情况，电路有 3 种工作状态，即有载状态、开路状态和短路状态，电路的 3 种工作状态如图 1-3 所示。

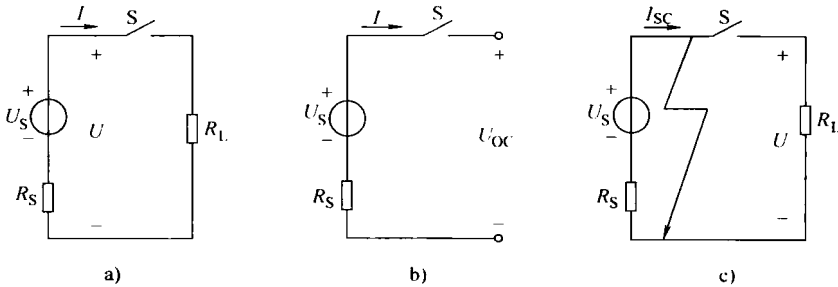


图 1-3 电路的 3 种工作状态

a) 有载状态 b) 开路状态 c) 短路状态

1. 有载状态

电路的有载状态又称为通路或闭路状态。当将图 1-3a 电路中的开关 S 闭合时，电源与负载形成闭合回路，电路处于有载工作状态，电路中有电流流过。

在实际的工作中，电路元器件和电气设备均会标注额定值。额定值是指其在电路正常运行状态下所能承受的电压、允许通过的电流以及它们吸收或产生功率的限度。额定电压、额定电流和额定功率分别用 U_N 、 I_N 、 P_N 表示。一般来说，电气设备在额定状态工作时是最经济合理和安全可靠的，并能保证电气设备有一定的使用寿命。

电气设备的铭牌以及说明书中所标注的电压、电流及功率的值，都是指设备的额定值。如一个电烙铁上标注的电压为 220V，功率为 45W，就是指它的额定电压为 220V，额定功率

为 45W。

由于电路电源往往是恒压源，所以人们常常根据电流的大小判断负载的情况。当电源输出的电压为额定值时，电流等于额定电流，称为满载；当电流小于额定电流时，称为轻载；当电流超过额定电流时，称为过载。

2. 开路状态

电路的开路状态也称为断路状态。在图 1-3b 所示的电路中，当开关 S 断开或电路中某处断开时，电路处于开路状态。此时的电路中没有电流流过；电源端电压等于理想电压源电压，即 $U_{oc} = U_s$ ， U_{oc} 称为开路电压。同时，电源不提供功率，负载也不消耗功率。

当开关处于断开状态时，电路开路是正常状态；但当开关处于闭合状态时，电路仍然开路，就属于故障状态，需要尽快加以处理。

3. 短路状态

短路是指电路中元器件两端由于某种原因而短接在一起的现象。图 1-3c 所示为电源短路。此时电源的电压会全部落在电源的内阻上，因为电源内阻一般都很小，所以电源中的电流最大，其值为 $I_{sc} = U_s / R_s$ ，此电流称为短路电流 I_{sc} 。同时，负载不吸收功率，电源的功率全部消耗在电源内部。

电路中可以出现短路，有时还可以利用短路现象解决一些实际问题，但是电源是绝对不允许短路的，由于短路电流过大，会使电源温度迅速上升，从而使其烧毁，所以，在实际工作中应该检查电气设备和线路的绝缘情况，尽量防止短路事故的发生。通常应在电路中接入熔断器等保护装置，以便在发生短路时能迅速分断故障，达到保护电源及电路元器件的目的。

1.2 电路的基本变量

学习任务

- 1) 掌握基本物理量（电流、电压、电功率）的定义式、物理含义及相互关系。
- 2) 掌握电流、电压的实际方向和参考方向之间的关系。
- 3) 掌握电流、电压参考方向与功率释放、吸收的联系。

电流、电压、电位、电功率等是电路的基本物理量，只有真正理解和掌握它们，才能真正学会分析电路。在电路分析中，还要在电路图中标出电路基本物理量的方向，正确地列写方程，求解电路。本节将对这些物理量及其相关概念进行简要说明。

1.2.1 电流

电荷的定向运动形成电流。电流有大小之分，衡量电流大小或强弱的物理量叫做电流强度，简称为电流。

单位时间内通过导体横截面的电荷量定义为电流强度，用符号 i 或 I 表示，其数学表达式为

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

式中， dq 为时间 dt 内通过导体横截面的电荷量。

如果电流的大小和方向都不随时间而变化,就称为恒定电流,简称为直流,文字符号用字母“DC”或“dc”表示,一般用符号 I 表示。直流电流示意图如图 1-4a 所示。

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

若电流的大小和方向都随时间变化,则称为时变电流,一般用符号 i 表示。电流的大小和方向作周期性变化,且一个周期内平均值为零的时变电流,称为交变电流,简称为交流,文字符号用字母“AC”或“ac”表示。交变电流示意图如图 1-4b 所示。

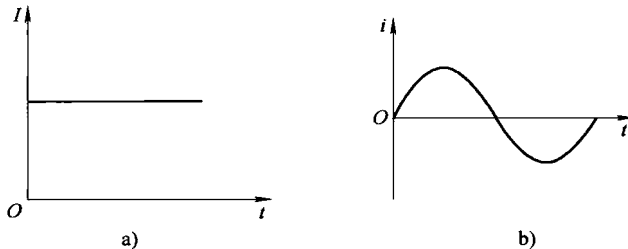


图 1-4 直流电流和交变电流示意图
a) 直流电流示意图 b) 交变电流示意图

在国际单位制中,电荷[量]的单位为库[仑](C);时间单位为秒(s);电流单位为安[培],简称为安(A)。有时也会用到千安(kA)、毫安(mA)、微安(μA)等单位。它们之间的换算关系是

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

电流的方向习惯上规定为正电荷定向移动的方向,与电子流的方向正好相反。一段电路中电流的方向是客观存在的,但在具体分析电路时,有时很难判断出电流的实际方向,甚至电流的实际方向还在不断改变,因此在电路中很难标出电流的实际方向。为了解决这一问题,常常事先假设一个电流方向,这个假设的电流方向称为参考方向。如果计算的结果电流为正值,那么电流的实际方向与参考方向一致;如果计算的结果电流为负值,那么电流的实际方向与参考方向相反。这样,就可以在选定的电流参考方向下,根据电流的正负值来确定出某一时刻电流的实际方向。电流参考方向与实际方向的关系如图 1-5 所示。

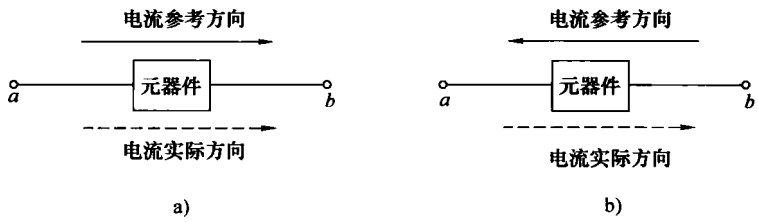


图 1-5 电流参考方向与实际方向的关系
a) $i > 0$ b) $i < 0$

在电路中,元器件的电流参考方向用实线箭头表示。电流参考方向的表示方法如图 1-6 所示。在文字叙述时也可用电流符号加双下标表示,如 I_{ab} , 它表示电流的参考方向由 a 流向 b, 并有 $I_{ab} = -I_{ba}$ 。



图 1-6 电流参考方向的表示方法

应当注意的是，在实际计算中，若不选定电流的参考方向，则电流的正负是无意义的。因此，在分析电路时，一定要先假设电流的参考方向。电流参考方向可以任意选定，但参考方向一经选定，在电路分析和计算过程中，不能随意更改；当然所选定的电流参考方向并不一定就是电流的实际方向。电流的值有正有负，它是一个代数量，其正负表示电流的实际方向与参考方向的关系。

【例 1-1】 在图 1-7 所示的电路中，电流参考方向已被选定。已知 $I_1 = 2\text{A}$ ， $I_2 = -6\text{A}$ ，试确定通过电阻 R 上的电流的实际方向。

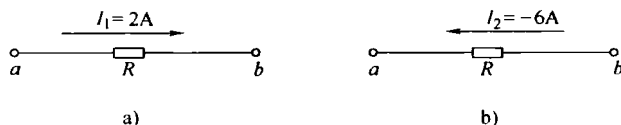


图 1-7 例 1-1 图

解：由图 1-7a 可知，电流的参考方向由 a 到 b， $I_1 = 2\text{A} > 0$ ，为正值，说明电流 I_1 的实际方向与参考方向相同，即从 a 到 b。

由图 1-7b 可知，电流的参考方向由 b 到 a， $I_2 = -6\text{A} < 0$ ，为负值，说明电流 I_2 的实际方向与参考方向相反，即从 a 到 b。

1.2.2 电压和电位

1. 电压

水在管中之所以能流动，是因为有着高水位和低水位之间的差别，这种差别会产生一种压力，使水从高处流向低处。在这个过程中，水会做功。电也是如此，电流之所以能够在导线中流动，也是因为在电流中有着高电位和低电位之间的差别，这种差别叫做电位差，也叫做电压。在这个过程中，电流也会做功，即电荷在电场中受到电场力的作用而做功。电压就是衡量电场力做功能力大小的物理量。

如果电压的大小及方向都不随时间变化，就称为稳恒电压或恒定电压，简称为直流电压，用大写字母 U 表示。如果电压的大小及方向随时间变化，就称为交变电压。对电路分析来说，一种最为重要的交变电压是正弦交流电压（简称为交流电压），其大小及方向均随时间按正弦规律作周期性变化。交流电压的瞬时值用小写字母 u 表示。

在电场中，电场力将单位正电荷 q 从 A 点移动到 B 点，若电场力所做的功为 W_{AB} ，则 W_{AB} 与 q 的比值就称为该两点之间的电压，用公式表示为

$$U_{AB} = \frac{W_{AB}}{q} \quad (1-3)$$

$$u_{AB} = \frac{dW_{AB}}{dq} \quad (1-4)$$

在国际单位制中，功的单位为焦[耳](J)；电荷[量]的单位为库[仑](C)；电压的单位为伏[特](V)，有时也用到千伏(kV)、毫伏(mV)、微伏(μ V)。它们之间的换算关系是

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

与电流相似，在电路计算时，事先无法确定电压的实际方向，常先选定参考方向。电压的参考方向也是任意选定的。在分析电路时，先选定某一方向作为电压的参考方向，若计算结果为正值($u > 0$)，则电压的参考方向与实际方向一致；若计算结果为负值($u < 0$)，则电压的参考方向与实际方向相反。电压参考方向与实际方向的关系如图 1-8 所示。

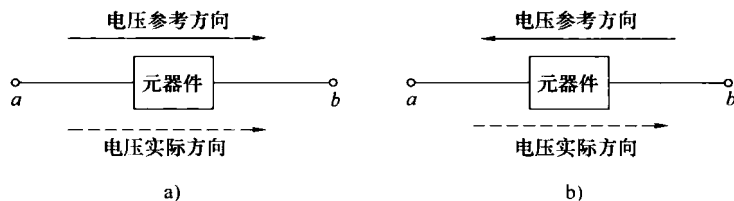


图 1-8 电压参考方向与实际方向的关系

a) $u > 0$ b) $u < 0$

电压参考方向的表示方法如图 1-9 所示。可用从高电位指向低电位的箭头表示，如图 1-9a 所示；也可用高电位标“+”，低电位标“-”来表示，即参考极性表示法，如图 1-9b 所示；也可用电压符号加双下标表示，如图 1-9c 所示， U_{ab} 表示电压的参考方向由 a 指向 b，并有 $U_{ab} = -U_{ba}$ 。在电路中习惯用参考极性表示电压的参考方向。

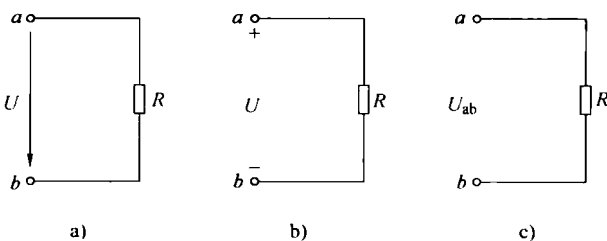


图 1-9 电压参考方向的表示方法

a) 用从高电位指向低电位的箭头表示 b) 参考极性表示法

c) 用电压符号加双下标表示

在实际计算中，若不选定电压的

参考方向，则电压的正负是无意义的。因此，在分析电路时，一定要先假设参考方向。电压的参考方向可以任意选定，但一经选定，在电路分析和计算过程中，就不能随意更改。同理，电压的值也有正有负，它也是一个代数量，其正负表示电压的实际方向与参考方向的关系。

【例 1-2】 在图 1-10 所示的电路中，电压参考方向已被选定。已知 $U_1 = 5\text{V}$ ， $U_2 = -2\text{V}$ ，试确定电阻两端电压的实际方向。

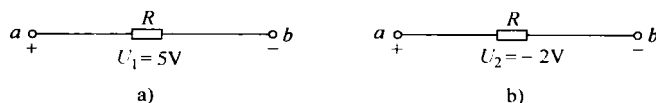


图 1-10 例 1-2 图

解：由图 1-10a 所示可知，电压的参考方向由 a 到 b， $U_1 = 5\text{V} > 0$ ，为正值，说明电压 U_1 的实际方向与参考方向相同，即由 a 到 b。

由图 1-10b 所示可知，电流的参考方向由 a 到 b， $U_2 = -2\text{V} < 0$ ，为负值，说明电压 U_2 的实际方向与参考方向相反，即由 b 到 a。

在任意电路中，某一支路或某一元器件上的电流参考方向与电压参考方向可以分别被独立选定。但为了分析方便，常使同一元器件的电流参考方向与电压参考方向一致，即电流从元器件电压的正极性端流入，而从它的负极性端流出，此时该元器件的电流参考方向与电压参考方向是一致的，称为关联参考方向，如图 1-11a 所示。若电流的参考方向与电压的参考方向选择不一致，则称为非关联参考方向，如图 1-11b 所示。

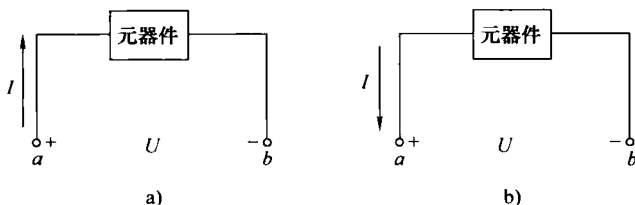


图 1-11 电压和电流的参考方向
a) 关联参考方向 b) 非关联参考方向

当选取电压和电流方向为关联参考方向时，在电路图上只需标出电流的参考方向或电压的参考方向即可。图 1-12 所示的是电压和电流为关联参考方向的表示方法。在本书中若未特别说明，均采用关联参考方向。

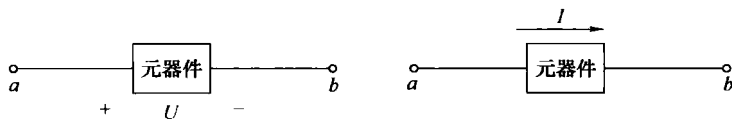


图 1-12 电压和电流为关联参考方向的表示方法

2. 电位

如同水路中的每一处都有水位一样，电路中的每一点也都有电位。电位是用于表征电场（电路）中不同位置电荷所具有能量大小的物理量。讲水位首先要确定一个基准面（即参考面），电位也一样，先要确定一个基准，这个基准称为参考点，通常规定参考点的电位为零，因此参考点又称为零电位点。原则上参考点是可以任意被选定的，在实际电路中常选取公共接点处或机壳作为参考点，工程上则常选取大地为参考点。零电位可以用“ $\perp$ ”的符号表示接大地，“ $\dashv$ ”表示接机壳或公共接点。

在电路中任选一点为参考点，则某一点 a 到参考点的电压就称为 a 点的电位，用 V_a 表示。根据电位定义有 $V_a = U_{a0}$ 。电位的实质上就是电压，其单位也用伏 [特] (V) 表示。

电位表示图如图 1-13 所示。以电路中的 o 点为参考点，则有 $V_a = U_{a0}$ ， $V_b = U_{b0}$ ，则

$$U_{ab} = U_{a0} + U_{ob} = U_{a0} - U_{b0} = V_a - V_b \quad (1-5)$$

由此可见，两点间的电压就是该两点之间的电位差。当 a 点

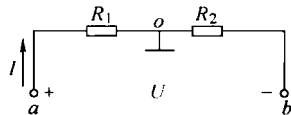


图 1-13 电位表示图