



全国高等职业教育规划教材

# 电路基础与实践

主编 刘 科 祁春清

主审 陈伟元



电子课件下载网址 [www.cmpedu.com](http://www.cmpedu.com)

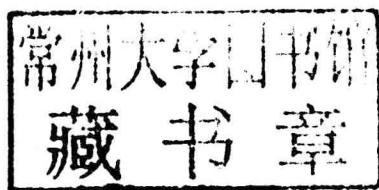


机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

全国高等职业教育规划教材

# 电路基础与实践

主编 刘 科 祁春清  
参编 严俊高 相会杰  
主审 陈伟元



机械工业出版社

本书为适应高等职业教育人才培养目标的要求,将理论与实践项目相结合。主要内容包括:电路的基本概念与基本定律、直流电路的分析与计算、动态电路的时域分析、正弦交流电路、三相交流电路、互感电路及磁路、线性动态电路的复频域分析、非正弦周期电流电路的稳态分析等。实践项目有:电位、电压的测定及电位图的绘制,基尔霍夫定律的验证,验证叠加定理和替代定理,测试有源二端网络和验证戴维南定理,一阶电路的响应测试,交流电路的测量,并联电容提高功率因数,选频电路的设计实现,三相电路的联结和测量,互感线圈的测量等。

本书可作为高职院校理工科电类各专业的教材,含丰富的例题和习题及其答案,也可供自学者和工程技术人员使用。

本书配套授课电子教案,需要的教师可登录 [www.cmpedu.com](http://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

电路基础与实践/刘科, 祁春清主编. —北京: 机械工业出版社, 2012. 8

全国高等职业教育规划教材

ISBN 978-7-111-38556-1

I. ①电… II. ①刘… ②祁… 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 110447 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: 刘怡丹

责任校对: 申春香 责任印制: 乔宇

三河市国英印务有限公司印刷

2012 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 14.25 印张 · 348 千字

0001—3000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-38556-1

定价: 31.00 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)
- 尹立贤 王用伦 王树忠 王新新 邓 红 任艳君  
刘 松 刘 勇 华天京 吉雪峰 孙学耕 孙津平  
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 姚建永 钮文良 聂开俊 袁 勇 袁启昌  
郭 勇 郭 兵 郭雄艺 高 健 崔金辉 曹 毅  
章大钧 黄永定 曾晓宏 蔡建军 谭克清
- 秘 书 长** 胡毓坚
- 副 秘 书 长** 戴红霞

## 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，并有多个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

本书将电路基础知识与实践项目有机融合。基础知识内容深入浅出，摒弃繁杂推导，注重用简练的语言叙述电路原理；实践项目注重与生活 and 工程应用相结合，也注重新方法、新工具的应用。在实践项目组织中，既有实际操作内容，又有计算机仿真的方法。

全书共分8章，建议使用学时为80~100学时。其中第6章6.3、6.4节的内容供电气等专业选讲；第7章、第8章供通信等专业选讲，其他各个章节为电类各专业必修的内容。

在书中的实践项目中，电位、电压的测定及电位图的绘制，基尔霍夫定律的验证，验证叠加定理和替代定理，测试有源二端网络和验证戴维南定理，交流电路的测量，并联电容提高功率因数，互感线圈的测量等均为实际操作项目，各需要2学时完成；一阶电路的响应测试需要4学时；选频电路的设计实现以仿真为主，需要4学时；三相电路的联结和测量有2学时仿真和2学时实际操作，使用教师可根据需要适当选择。

本书由刘科、祁春清担任主编，陈伟元担任主审。本书的第1章、第2章由祁春清编写；第3章、第4章由刘科编写；第5章、第6章由严俊高编写；第7章、第8章由相会杰编写；附录由刘科、相会杰编写；由刘科担任全书统稿和校订的工作。

限于编者的水平，书中难免有错误和不妥之处，恳切希望广大读者提出批评和改进意见。

编 者

# 目 录

出版说明

前言

第 1 章 电路的基本概念与基本定律 .....	1
1.1 电路与电路模型 .....	1
1.1.1 电路 .....	1
1.1.2 电路模型 .....	1
1.1.3 电路图 .....	2
1.2 电路的基本物理量 .....	4
1.2.1 电流 .....	4
1.2.2 电压、电位、电动势 .....	5
1.2.3 电功率 .....	6
1.3 线性电阻元件 .....	8
1.3.1 电阻伏安关系 .....	8
1.3.2 电阻功率 .....	8
1.4 独立源和受控源 .....	9
1.4.1 独立电压源 .....	9
1.4.2 独立电流源 .....	10
1.4.3 受控源 .....	10
1.5 基尔霍夫定律 .....	12
1.5.1 基本概念 .....	12
1.5.2 基尔霍夫电流定律 .....	12
1.5.3 基尔霍夫电压定律 .....	14
1.6 实践项目 电位、电压的测定及电位图的绘制 .....	16
1.6.1 任务 1 测量电位和电压 .....	17
1.6.2 任务 2 绘制电位图 .....	17
1.7 实践项目 基尔霍夫定律的验证 .....	18
1.7.1 任务 1 验证基尔霍夫电流定律 .....	18
1.7.2 任务 2 验证基尔霍夫电压定律 .....	19
1.8 习题 .....	20
第 2 章 直流电路的分析与计算 .....	24
2.1 线性电阻网络等效变换 .....	24
2.1.1 电阻的串联、并联和混联及其等效变换 .....	24
2.1.2 电阻星形联结和三角形联结 .....	26
2.2 电源等效变换 .....	28
2.2.1 独立源等效变换 .....	28
2.2.2 受控源等效变换 .....	30
2.3 支路电流法 .....	32

2.4	节点电位法	33
2.4.1	节点方程及其一般形式	34
2.4.2	节点法解题步骤	35
2.5	网孔电流法	38
2.5.1	网孔方程及其一般形式	38
2.5.2	网孔法解题步骤	39
2.6	叠加定理、齐性定理与替代定理	41
2.6.1	叠加定理	41
2.6.2	齐性定理	44
2.6.3	替代定理	44
2.7	戴维南定理与诺顿定理	46
2.7.1	戴维南定理	46
2.7.2	诺顿定理	49
2.8	最大功率传输定理	50
2.9	实践项目 验证叠加定理和替代定理	54
2.9.1	任务1 验证叠加定理	54
2.9.2	任务2 验证替代定理	55
2.10	实践项目 测试有源二端网络和验证戴维南定理	55
2.10.1	任务1 有源二端网络测试	56
2.10.2	任务2 验证戴维南定理	57
2.11	习题	58
<b>第3章</b>	<b>动态电路的时域分析</b>	<b>64</b>
3.1	动态元件	64
3.1.1	电感元件	64
3.1.2	电容元件	65
3.2	换路定律及初始值的确定	66
3.2.1	电路的过渡过程与换路定律	66
3.2.2	电路初始值的确定	68
3.3	一阶电路的零输入响应	71
3.3.1	概述	71
3.3.2	RC 电路零输入响应	71
3.3.3	RL 电路的零输入响应	74
3.4	一阶电路的零状态响应	76
3.4.1	RC 电路的零状态响应	76
3.4.2	RL 电路的零状态响应	77
3.5	一阶电路的全响应	79
3.5.1	全响应	79
3.5.2	三要素法	81
3.6	阶跃函数和阶跃响应	83
3.6.1	阶跃函数	83
3.6.2	阶跃响应	85
3.7	实践项目 一阶电路的响应测试	86
3.7.1	任务1 Multisim 仿真软件的使用	86



3.7.2 任务2 观察电容的充电、放电过程 .....	87
3.7.3 任务3 方波输入的响应 .....	88
3.8 习题 .....	89
<b>第4章 正弦交流电路</b> .....	<b>92</b>
4.1 正弦量的基本概念 .....	92
4.1.1 瞬时值、最大值、有效值 .....	92
4.1.2 周期、频率、角频率 .....	94
4.1.3 相位、初相、相位差 .....	94
4.2 正弦量的相量表示 .....	96
4.2.1 复数及其运算 .....	96
4.2.2 正弦量的相量表示 .....	98
4.2.3 相量图 .....	99
4.3 正弦交流电路中的元器件 .....	100
4.3.1 正弦电路中的基本元器件 .....	100
4.3.2 阻抗 .....	103
4.3.3 导纳 .....	106
4.3.4 阻抗与导纳的串并联 .....	107
4.4 正弦交流电路的分析 .....	108
4.4.1 正弦交流电路的相量分析法 .....	108
4.4.2 正弦交流电路的相量图解法 .....	112
4.5 正弦交流电路的功率 .....	113
4.5.1 电路基本元器件的功率 .....	113
4.5.2 无源线性二端网络的功率 .....	116
4.5.3 功率因数的提高 .....	118
4.6 正弦交流电路中的谐振现象 .....	120
4.6.1 串联谐振 .....	120
4.6.2 并联谐振 .....	123
4.7 实践项目 交流电路的测量 .....	125
4.7.1 任务1 感性电路的测量 .....	125
4.7.2 任务2 容性电路的测量 .....	127
4.8 实践项目 并联电容提高功率因数 .....	129
4.8.1 任务1 功率因数与并联电容的关系 .....	129
4.8.2 任务2 将功率因数提高到特定值 .....	130
4.9 实践项目 选频电路的设计实现 .....	132
4.9.1 任务1 LC选频电路的设计实现 .....	132
4.9.2 任务2 文氏桥选频电路的设计实现 .....	133
4.10 习题 .....	135
<b>第5章 三相交流电路</b> .....	<b>139</b>
5.1 三相交流电源 .....	139
5.1.1 对称三相电压 .....	139
5.1.2 三相电源的星形和三角形联结 .....	140
5.1.3 三相电压的相序 .....	142
5.2 对称三相电路的计算 .....	142

5.2.1 概述	142
5.2.2 对称负载星形联结的三相电路	143
5.2.3 对称负载三角形联结的三相电路	145
5.3 不对称三相电路的计算	146
5.4 三相电路的功率及其测量	147
5.4.1 三相电路的功率计算	147
5.4.2 三相电路的功率测量	149
5.5 实践项目 三相电路的联结和测量	150
5.5.1 任务1 三相电路的仿真	151
5.5.2 任务2 三相负载星形联结时的电压、电流及功率的测量	152
5.5.3 任务3 三相负载三角形联结时的电压、电流及功率的测量	153
5.6 习题	155
<b>第6章 互感电路及磁路</b>	<b>156</b>
6.1 互感电路的基本知识	156
6.1.1 互感的概念	156
6.1.2 互感线圈的同名端	157
6.1.3 互感线圈的伏安关系	159
6.2 互感电路的计算	159
6.2.1 正弦交流互感电路的分析法	160
6.2.2 耦合电感的去耦等效电路分析法	161
6.3 磁路的基本知识	165
6.3.1 磁路的概念	165
6.3.2 磁路的基本物理量	167
6.3.3 磁路的电磁定律	168
6.3.4 铁磁材料的磁性能	171
6.4 磁路分析	172
6.4.1 直流磁路分析	172
6.4.2 交流磁路分析	173
6.5 实践项目 互感线圈的测量	174
6.5.1 任务1 互感线圈同名端的判别	174
6.5.2 任务2 互感线圈的互感测量	175
6.6 习题	178
<b>第7章 线性动态电路的复频域分析</b>	<b>179</b>
7.1 拉普拉斯变换及其性质	179
7.1.1 拉普拉斯变换的定义	179
7.1.2 拉普拉斯变换的基本性质	180
7.1.3 常用信号的拉普拉斯变换	180
7.2 拉普拉斯反变换	181
7.3 动态线性电路的复频域模型	184
7.3.1 基尔霍夫定律的复频域形式	184
7.3.2 动态电路元件的s域模型	184
7.4 线性电路的复频域法求解	186
7.4.1 线性电路的复频域等效模型	186

7.4.2 线性电路的复频域法求解 .....	187
7.5 习题 .....	188
<b>第8章 非正弦周期电流电路的稳态分析</b> .....	<b>190</b>
8.1 非正弦周期函数的傅里叶级数展开式 .....	190
8.1.1 非正弦周期电流电路的基本概念 .....	190
8.1.2 非正弦周期函数的傅里叶级数展开式详述 .....	192
8.1.3 非正弦周期函数的傅里叶级数展开式的简化 .....	194
8.1.4 非正弦周期函数的傅里叶级数查表求法 .....	194
8.2 非正弦周期量的基本知识 .....	195
8.2.1 有效值、平均值、平均功率 .....	195
8.2.2 有效值、平均值、平均功率的计算 .....	198
8.3 非正弦周期电流电路的稳态分析 .....	199
8.4 习题 .....	200
<b>附录 Multisim 8.0 与电路仿真</b> .....	<b>202</b>
<b>习题答案</b> .....	<b>209</b>
<b>参考文献</b> .....	<b>215</b>

# 第 1 章 电路的基本概念与基本定律

**内容提要：**本章主要介绍电路与电路模型、电路的基本物理量、线性电阻元件、独立源和受控源以及基尔霍夫定律。本章介绍的概念和定律是学习后面章节的基础，是电类专业重要的基础知识，应认真理解和掌握。

## 1.1 电路与电路模型

### 1.1.1 电路

电作为一种优越的能量形式和信息载体已经成为当今社会不可或缺的重要组成部分，而电的产生、传输和应用又必须通过电路来实现。由各种电气器件按一定方式连接，并可提供电量传输路径的总体，称为电路或电网络。电路的作用是实现能量的传输和转换等。

#### 1. 电路的组成

尽管实际电路的形式多种多样，但在本质上都是由电源（或信号源）、负载、中间环节这 3 个部分组成的。以手电筒电路为例，其电路图如图 1-1 所示。图 1-1 中左侧是电池，右侧小灯泡是负载，导线及开关为中间环节。

各个组成部分的功能如下。

**电源（信号源）：**将其他形式的能量（如热能、机械能、化学能等）转换成电能。如各类发电机、干电池、蓄电池及各种传感器等。

**负载：**将电能转换成其他形式的能量。如小灯泡、荧光灯、电动机、电炉等。

**中间环节**起连接、控制、分配等作用，包括连接导线、控制器件等。

**连接导线：**连接电源和负载，以形成回路，让电流流通。

**控制器件：**其作用是控制电路的状态，即接通或断开电流流通的路径，控制小灯泡的亮暗。如开关。

在图 1-1 所示的手电筒电路中，电池将化学能转换成电能，小灯泡将电能转换成光能和热能，导线实现能量的传输。

#### 2. 电路的状态

电路状态可以分为 3 种，即通路、开路、短路。在图 1-1 所示的电路中，若开关合上，则电路被接通，小灯泡亮，为通路；若开关断开，则电流不通，小灯泡灭，为开路，也有称断路。当电源不经负载直接闭合形成回路时，为短路，此时电流很大，常会损坏电气器件。

### 1.1.2 电路模型

模型的概念在各学科的研究中都有应用。只有在一些理想化的条件下和建立模型的基础

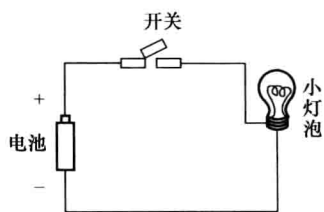


图 1-1 手电筒电路图

上,才能对各学科进行深入研究。这种类似的研究方法,也被应用在电路的研究之中。

成千上万的实际电路的元器件在外形、结构、功能等各个方面千差万别,这给研究实际电路带来不便,但当我们抛开它们的外表、研究其电磁特性时,又会发现它们有许多共同的特性存在,比如白炽灯,电流通过时消耗电能,表现电阻性,同时又会产生磁场,表现为电感性。研究表明,其感性很弱。因此,为了便于分析,可以忽略白炽灯的感性而用一个理想电阻元件来等效。电烙铁、电炉也主要消耗电能,都可以将它们归结为电阻元件。把电池、发电机等能发出电能的器件归结为电源。

把实际电路元件用理想电路元件(电阻、电感、电容等)等效之后,用特定的图形符号表示,这样组成的电路图称为理想电路模型,简称电路模型。由上面的分析可知,白炽灯和电炉的电路模型是相同的,都是电阻电路,其电路模型如图1-2所示。在本书中所讨论的电路,如无特殊说明,均指的是电路模型,元器件均为理想元器件。部分电气图形符号见表1-1。

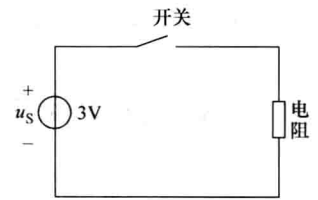


图 1-2 电阻电路的电路模型

表 1-1 部分电气图形符号 (根据国标 GB/T 4728)

符号	名称	符号	名称	符号	名称
	电阻		双向二极管		电压源
	可调电阻		NPN 晶体管		半导体二极管
	电容		绝缘栅场效应管		隧道二极管
	电铃		双绕组变压器		单向击穿二极管、稳压管
	灯		天线		与门
	脉冲		电感、线圈		直流电动机
	压电晶体		电流源		运算放大器

电路可分为集总参数电路和分布参数电路,集总参数电路又按其元件参数是否为常数,分为线性电路和非线性电路。本书重点学习集总参数元件和集总参数线性电路的分析方法。

### 1.1.3 电路图

电路图是人们为了研究和工程的需要,用国家标准化的图形符号绘制的一种表示各元器件组成的图形。用导线将电源、开关(电键)、用电器、电流表、电压表等连接起来组成电路,再按照统一的符号将它们表示出来,这样绘制出的图就称为电路图。通过电路图,可以详细的知道电路的工作原理,因此,电路图是分析电路性能、安装电子产品的主要设计文

件。在设计电路时，也可以从容地在纸上或计算机上进行，确认完善后再进行实际安装，通过调试、改进，直至成功。随着计算机发展和技术的进步，可以应用的计算机来进行电路的辅助设计和虚拟的电路实验，从而大大提高了工作效率。

常用到的电子电路图有：原理图、框图、装配图和印制板图等。下面简单介绍其定义。

1) 原理图又被叫做电路原理图。由于它直接体现了电子电路的结构和工作原理，故一般用在设计、分析电路中。当分析电路时，通过识别图样上所画的各种电路元件符号以及它们之间的连接方式，就可以了解电路的实际工作情况。

2) 框图是一种用方框和连线来表示电路工作原理和构成概况的电路图。从根本上说，这也是一种原理图。不过在这种图样中，除了方框和连线，几乎就没有别的符号了。它和上面介绍的原理图主要的区别在于，在原理图上详细地绘制了电路的全部元器件和它们的连接方式，而框图只是简单地将电路按照功能划分为几个部分，将每一个部分描绘成一个方框，在方框中加上简单的文字说明，在方框间用连线（有时用带箭头的连线）说明各个方框之间的关系。因此，框图只能用来体现电路的大致工作原理，而原理图除了详细地表明电路的工作原理之外，还可以用来作为采购元器件、制作电路的依据。

3) 装配图是为了进行电路装配而采用的一种图样，图上的符号往往是电路元器件实物的外形图。只要照着图上画的样子，把电路元器件安装起来就能够完成电路的装配。这种电路图一般是供初学者使用的。

4) 印制板图全名是印制电路板图。是供装配实际电路使用的。印制电路板是在一块绝缘板上先覆上一层金属箔，再将电路不需要的金属箔腐蚀掉，剩下的金属箔部分作为电路元器件之间的连接线，然后将电路中的元器件安装在这块板上，利用板上剩余的金属箔作为元器件之间导电的连线，从而完成电路的连接。由于这种电路板的一面或两面覆的金属通常是铜皮，所以印制电路板又称为覆铜板。印板图的元器件分布往往和原理图中的不大一样。这主要是因为，在印制电路板的设计中，主要考虑所有元器件的分布和连接是否合理，要考虑元器件体积、散热、抗干扰、抗耦合等诸多因素。综合这些因素设计出来的印制电路板，从外观很难与原理图完全一致，而实际上却能更好地实现电路的功能。随着科技发展，目前印制电路板的制作技术已经有了很大的发展，除了单面板、双面板外，还有多面板，已经被大量运用到日常生活、工业生产、国防建设、航天事业等许多领域。

在上面介绍的4种形式的电路图中，电路原理图是最常用也是最重要的。能够看懂原理图，也就基本掌握了电路的原理，绘制框图、设计装配图、印制板图就都比较容易了，进行电器的维修、设计也十分方便。因此，关键是掌握原理图。

电路图主要由元器件符号、连线、结点、注释4大部分组成。元器件符号表示实际电路中的元器件，它的形状与实际元器件不一定相似，甚至完全不一样。但是它一般都表示出了元器件的特点，而且引脚的数目都和实际元器件保持一致。连线表示的是实际电路中的导线，在原理图中虽然是一根线，但在常用的印制电路板中往往不是线，而是各种形状的铜箔块，就像收音机原理图中的许多连线在印制电路板图中并不一定都是线形的一样，也可以是一定形状的铜膜。结点表示几个元器件引脚或几条导线之间相互的连接关系。所有与结点相连的元器件引脚、导线，不论数目多少，都是导通的。注释在电路图中也是十分重要的，电路图中所有的文字都可以归入注释一类。在电路图的各个地方都有注释存在，它们被用来说明元器件的型号、名称等。

## 1.2 电路的基本物理量

### 1.2.1 电流

#### 1. 电流概述

带电粒子（电荷）在电场力的作用下定向移动形成电流。将正电荷运动的方向定义为电流的实际方向。电流的大小用电流强度表示，定义为单位时间内流过某一导体横截面的电荷量，简称电流。设在  $dt$  时间内通过导体截面的电荷为  $dq$ ，则电流表示为

$$i = \frac{dq}{dt}$$

在国际单位制（SI）中，时间  $t$  的单位为 s（秒），电荷量的单位为 C（库仑），电流的单位为 A（安培）。常用单位还有 kA（千安）、mA（毫安）、 $\mu\text{A}$ （微安）等。

当电流的大小和方向都不随时间变化时，称为恒定电流，简称为直流，用大写字母  $I$  表示。在直流电流中又可分为稳恒直流和脉动直流，在本书第 1、2 章里主要研究稳恒直流。若电流大小和方向都随时间变化的称为交流，用小写字母  $i$  表示。交流电流一般可分为正弦交流和非正弦交流。

#### 2. 电流的参考方向

在进行复杂电路的分析时，若电流的实际方向很难确定或在电流的实际方向是变化的情况下，则需要假定一个电流正方向，称为参考正方向，简称为参考方向。电流的参考方向可用箭头表示，也可用字母顺序表示（如图 1-3 所示，用双下标表示时为  $i_{ab}$ ）。当电路中电流的参考方向与实际方向一致时，电流为正，即  $i > 0$ ，如图 1-3a 所示；当电流的参考方向与实际方向相反时电流为负，即  $i' < 0$ ，如图 1-3b 所示。在进行电路分析时，如果没有事先选定电流的参考方向，电流的正负就是无意义的。

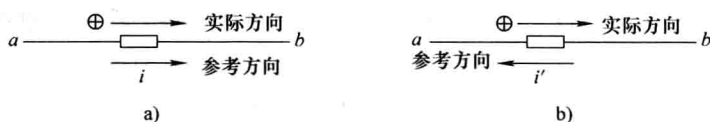


图 1-3 电流的方向示意图

a) 实际方向与参考方向一致 b) 实际方向与参考方向相反

**【例 1-1】** 已知电路和电流的参考方向如图 1-4 所示，且  $I_a = I_c = 1\text{A}$ ， $I_b = I_d = -1\text{A}$ ，试指出电流的实际方向。



图 1-4 例 1-1 图

解：a)  $I_a = 1\text{A} > 0$ ， $I_a$  的实际方向与参考方向相同，即由 A 指向 B；

b)  $I_b = -1\text{A} < 0$ ， $I_b$  的实际方向与参考方向相反，即由 B 指向 A；

c)  $I_c = 1\text{A} > 0$ ,  $I_c$  的实际方向与参考方向相同, 即由 B 指向 A;

d)  $I_d = -1\text{A} < 0$ ,  $I_d$  的实际方向与参考方向相反, 即由 A 指向 B。

需要注意的是, 电流参考方向可以被任意设定, 但是一旦设定好了, 在分析电路时就不能随意更改。

## 1.2.2 电压、电位、电动势

### 1. 电压

带电粒子在电场力作用下沿电场方向运动, 电场力对带电粒子做功。为衡量电场力对带电粒子所做的功, 引入电压的概念。电场力把单位正电荷从电场中的 a 点移到 b 点所做的功, 称为 a、b 间的电压, 用  $u$  表示, 即

$$u = \frac{dW}{dq}$$

在国际单位制中, 电荷的单位是 C (库仑), 功的单位为 J (焦耳), 电压的单位为 V (伏特)。常用单位还有 kV (千伏)、mV (毫伏) 等。

### 2. 电压的参考方向

习惯上把电位降低的方向作为电压的实际方向。同电流一样, 在不能确定电压的实际方向时, 应选定一个参考方向, 可用 +、- 号或箭头表示, 也可用字母的双下标表示, 例如图 1-5 中从 a 点到 b 点的电压为  $U$  或  $U_{ab}$ 。当电压参考方向与实际方向一致时,  $U > 0$ , 电压的实际方向由 a 指向 b; 反之,  $U < 0$ , 电压的实际方向由 b 指向 a。由图 1-5 中电压的参考方向可知,  $U = U_{ab} = -U_{ba}$ 。

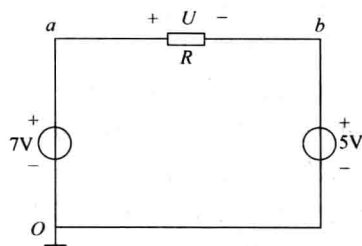


图 1-5 电压的参考方向

### 3. 电位

为衡量电场力把单位正电荷从某点移到参考点所做的功, 引入电位的概念。一般用“V”表示, 单位与电压相同。可任意选择电路中的参考点, 参考点的电位为 0V, 在图 1-5 中选择“O”点为参考点。

电路中任意一点的电位等于该点与参考点之间的电压, 如  $V_a = U_{a0}$ 、 $V_b = U_{b0}$ 。电路中两点间的电压也可用两点间的电位之差来表示, 即

$$U_{ab} = V_a - V_b$$

电路中两点间的电压是不变的, 而电位随参考点 (零电位点) 选择的不同而不同。

### 4. 电动势

在电路中, 正电荷是从高电位流向低电位的, 因此要维持电路中的电流, 就必须有一个能克服电场力、把正电荷从低电位移至高电位的力, 电源的内部就存在这种力, 称为电源力。电源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, 称为电动势, 用字母  $e$  ( $E$ ) 表示。电动势的实际方向在电源内部从低电位指向高电位, 即电位升的方向, 单位与电压相同, 用 V (伏特) 表示。

设电源力把正电荷  $dq$  从低电位端移至高电位端所做的功为  $dW_s$ , 则电源的电动势为

$$e = \frac{dW_s}{dq}$$



电压与电动势的关系如图 1-6 所示。在图 1-6a 中，电压  $U$  是电场力把单位正电荷由外电路从  $a$  点移到  $O$  点所做的功，由高电位指向低电位的方向，是电压的实际方向。电动势  $E$  是电源力在电源内部克服电场的阻力，把单位正电荷从  $O$  点移到  $a$  点所做的功，电动势的实际方向是电位升高的方向。在图 1-6a 这种参考方向下，电压和电动势相等，即  $U = E$ 。当电压的参考方向如图 1-6b 所示、由低电位点指向高电位点时，有  $U' = -E$ 。

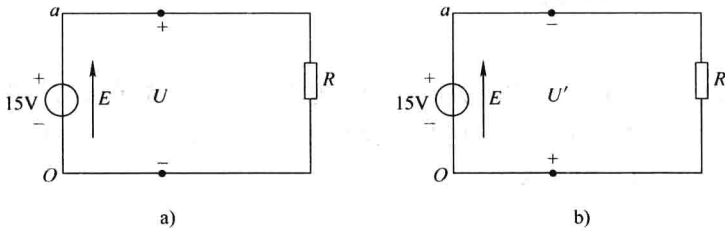


图 1-6 电压与电动势的关系  
a)  $U = E$  b)  $U' = -E$

**【例 1-2】** 分别计算图 1-6 中的电动势  $E$  和电压  $U$ 、 $U'$  的值。

**解：**若电动势方向为电位升高的方向，则  $E = 15\text{V}$ 。而规定电位降低的方向为电压的正方向，则有  $U = 15\text{V}$ ， $U' = -15\text{V}$ ，即  $U = E$ ， $U' = -E$ 。

在电路分析和计算中，电动势同电流、电压一样，参考方向可以任意假定。当计算结果为正时，实际方向与参考方向一致；当计算结果为负时，实际方向与参考方向相反。需要注意的是，在参考方向一经选定后，在分析的过程中不能改变。本书在电路中标出的电压、电流及电动势的方向一律指参考方向。

电压和电流的参考方向示意图如图 1-7 所示。在电路中，同一元器件的电压  $u$  与电流  $i$  的参考方向选择为“同方向”，即电流从电压的高电位点流向低电位点，称为相关联参考方向，如图 1-7a 所示， $u$  和  $i$  是关联参考方向。反之，电压和电流为非关联参考方向，如图 1-7b 所示， $u$  和  $i'$  是非关联参考方向。在图 1-7 中的方框可以是负载，也可以是电源。



图 1-7 电压和电流的参考方向示意图  
a) 电压和电流为关联参考方向 b) 电压和电流为非关联参考方向

### 1.2.3 电功率

电能对时间的变化率，称为电功率，简称为功率，用  $p$ （或  $P$ ）表示，即

$$p = \frac{dW}{dt} = \frac{dW}{dq} \times \frac{dq}{dt} = ui$$

在国际单位制中，功率的单位是瓦特，符号为  $W$ 。常用单位还有  $kW$ （千瓦）、 $mW$ （毫瓦）。在元器件电流和电压的参考方向相关联情况下，元器件吸收的电功率为  $p = ui$ ，如图 1-7a