



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

高等职业教育电子技术技能培养规划教材

Gaodeng Zhiye Jiaoyu Dianzi Jishu Jineng Peiyang Guihua Jiaocai

电路基础

(第3版)

王俊鵬 主编 张洪 副主编



YZLI0890169603

Basic Circuit Theory
(3rd Edition)

准确的原理分析方法

适当的经典教学内容

配套的实验指导环节



人民邮电出版社

POSTS & TELECOM PRESS



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

高等职业教育电子技术技能培养规划教材

Gaodeng Zhiye Jiaoyu Dianzi Jishu Jineng Peiyang Guihua Jiaocai

电路基础

(第3版)

王俊鹏 主编 张洪 副主编



YZLI0890169603

Basic Circuit Theory

(3rd Edition)

人民邮电出版社

北京

图书在版编目(CIP)数据

电路基础 / 王俊鹏主编. — 3版. — 北京: 人民邮电出版社, 2013.1
高等职业教育电子技术技能培养规划教材. 普通高等教育“十一五”国家级规划教材
ISBN 978-7-115-29260-5

I. ①电… II. ①王… 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232914号

内 容 提 要

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材《电路基础(第二版)》的修订本, 内容符合教育部颁布的“高职高专教育电工技术基础课程教学基本要求”。

本书主要内容有电路的基本概念和基本定律、电阻电路的分析、正弦电流电路、耦合电感与谐振电路、三相电路、二端口网络、非正弦周期电流电路、线性电路过渡过程的时域分析、线性电路过渡过程的复频域分析、电路基础实验指导等。

本书在编写中着重介绍基本概念、基本原理和基本分析方法, 突出工程应用。力图做到基本概念准确, 条理清晰, 内容精炼, 重点突出。

本书可作为高职高专院校电气类、电子信息类各专业的教材, 也可供有关工程技术人员参考。

普通高等教育“十一五”国家级规划教材
高等职业教育电子技术技能培养规划教材

电路基础(第3版)

-
- ◆ 主 编 王俊鹏
副 主 编 张 洪
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 电子邮件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
三河市海波印务有限公司印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 22.5 2013年1月第3版
字数: 549千字 2013年1月河北第1次印刷

ISBN 978-7-115-29260-5

定价: 45.00元

读者服务热线: (010)67170985 印装质量热线: (010)67129223
反盗版热线: (010)67171154

第3版前言

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材《电路基础（第二版）》的修订本，在内容体系、深度、广度及教学的适应性等方面符合教育部颁布的“高职高专教育电工技术基础课程教学基本要求”。

《电路基础（第3版）》保持了第二版突出基本概念，突出工程应用，注重实践技能培养的特色。这次修订进一步精选内容，突出主线，突出重点，简化部分内容，部分内容降低教学要求，适当控制教学篇幅，增加了与教学内容配套的实验指导环节，使教材更适应“实践的要求和岗位的需要”，具有科学性、先进性，可读性强，便于自学。

与第二版相比，《电路基础（第3版）》具体的变动和调整如下。

1. 第2章2.12节改为含受控源的简单电路的分析计算。
2. 第3章对电容元件与电感元件电压与电流的伏安关系式在采用分段形式表达 u 或 i 波形上的应用不作要求。
3. 删去第4章4.2.5小节耦合电感电路的一般分析方法。
4. 删去第6章6.4节端接二端口网络的分析。
5. 增加第10章电路基础实验指导。
6. 删去附录电路分析实训——MATLAB 电路仿真。

教学时本书的第1章~第5章、第7章和第8章为电路的基本部分，属于必修内容；其余各章可视专业需要和学生实际水平删减部分内容或安排在其他课程中讲授，选讲内容标有*号。教学中注意利用正文、例题、练习与思考题和习题等之间的分工与配合来达到掌握概念、强化应用的目的。习题应适量布置，灵活选用。

本书由郑州大学王俊鵬任主编,负责全书的统稿和定稿工作,并编写第1章、第6章、第8章。中央民族大学张洪任副主编,并编写第3章、第4章、第5章、第9章,同时提供全部的习题答案和教学课件。北京邮电大学王昭慧编写第2章。郑州大学梁占红编写第7章、第10章。郑州大学高金峰审阅了全书,提出了许多宝贵的意见,在此表示深切的感谢。

限于编者水平,书中疏漏之处在所难免,恳请读者批评指正。

编者

2012年8月

目 录

第1章 电路的基本概念和基本定律	1	的等效变换	37
1.1 电路与电路模型	2	2.4 两种电源模型及其等效变换	39
1.1.1 电路	2	2.4.1 实际电源的电压源模型	39
1.1.2 理想电路元件	3	2.4.2 实际电源的电流源模型	40
1.1.3 电路模型	4	2.4.3 实际电源两种模型的等效变换	40
1.2 电路的主要物理量	4	2.4.4 电源支路的串、并联	42
1.2.1 电流及其参考方向	4	2.5 支路电流法	44
1.2.2 电压、电位、电动势及其参考方向	5	2.5.1 支路电流法	45
1.2.3 电功率与电能	8	2.5.2 支路电流法的计算步骤	46
1.3 电阻元件及欧姆定律	9	2.6 网孔分析法	48
1.3.1 电阻元件	9	2.6.1 网孔方程	48
1.3.2 线性电阻元件与欧姆定律	10	2.6.2 网孔分析法的计算步骤	49
1.3.3 线性电阻元件的功率	11	2.6.3 含电流源支路时的求解方法	50
1.3.4 电气设备的额定值	12	2.7 节点分析法	51
1.4 电压源与电流源	12	2.7.1 节点方程	51
1.4.1 理想电压源	13	2.7.2 节点分析法的计算步骤	52
1.4.2 理想电流源	13	2.7.3 含电压源支路时的求解方法	55
1.5 基尔霍夫定律	15	2.8 叠加定理	57
1.5.1 电路的几个常用名词	15	2.8.1 叠加定理	57
1.5.2 基尔霍夫电流定律	15	2.8.2 齐(次)性定理	60
1.5.3 基尔霍夫电压定律	17	2.9 戴维南定理与诺顿定理	62
1.6 电路中各点电位的计算	21	2.9.1 二端网络及其等效电路	62
本章小结	23	2.9.2 戴维南定理	62
习题	24	2.9.3 诺顿定理	66
第2章 电阻电路的分析	28	2.10 最大功率传输定理	68
2.1 二端网络等效的概念	29	2.11 受控源	70
2.2 电阻的串联和并联电路的等效变换	30	2.12 含受控源的简单电路的分析计算	73
2.2.1 电阻的串联	30	2.12.1 含受控源不含独立源的二端网络的等效电阻	73
2.2.2 电阻的并联	31	2.12.2 含受控源与独立源的二端网络的等效电路	73
2.2.3 电阻的混联	33	2.12.3 受控源的等效变换	74
2.3 电阻的星形连接和三角形连接			

2.12.4 含受控源的简单电路的 计算	75	3.8.2 电路的性质	124
本章小结	77	3.8.3 RLC 并联电路的相量图	124
习题	80	3.9 负载及实际元件的电路模型	127
第3章 正弦电流电路	87	3.9.1 负载的等效阻抗与等效导纳、 阻抗和导纳的等效变换	127
3.1 正弦交流电的基本概念	88	3.9.2 实际元件的电路模型	128
3.1.1 正弦交流电量的三要素	89	3.10 阻抗的串联和并联	130
3.1.2 相位差	90	3.11 正弦电流电路中的功率	134
3.1.3 有效值	92	3.11.1 瞬时功率	134
3.2 电容元件和电感元件	93	3.11.2 平均功率 (有功功率)	136
3.2.1 电容元件	93	3.11.3 无功功率	136
3.2.2 电感元件	97	3.11.4 视在功率	137
3.3 复数	100	3.11.5 复功率	137
3.3.1 复数的表示形式	100	3.12 功率因数的提高	140
3.3.2 复数的四则运算	101	3.12.1 提高功率因数的意义	140
3.4 正弦交流电的相量表示法	104	3.12.2 提高功率因数的方法	141
3.4.1 用相量表示正弦量	104	3.13 复杂正弦电流电路的分析	142
3.4.2 用相量求正弦量的和与差	106	本章小结	149
3.5 正弦电流电路中的电阻、电感和 电容	108	习题	152
3.5.1 电阻元件伏安关系的相量 形式	108	第4章 耦合电感与谐振电路	157
3.5.2 电感元件伏安关系的相量 形式	110	4.1 耦合电感	158
3.5.3 电容元件伏安关系的相量 形式	113	4.1.1 互感	158
3.6 基尔霍夫定律的相量形式	116	4.1.2 互感电压	160
3.7 电阻、电感、电容的串联及 阻抗	117	4.1.3 耦合电感线圈的电压、电流 关系	160
3.7.1 RLC 串联电路的电压与电流 关系、阻抗	117	4.1.4 同名端及其测定	161
3.7.2 电路的性质	119	4.2 含有耦合电感的正弦电流电路 的分析	163
3.7.3 RLC 串联电路的相量图	119	4.2.1 互感电压的相量形式	163
3.8 电阻、电感、电容的并联及 导纳	122	4.2.2 耦合电感的串联	164
3.8.1 RLC 并联电路的电压与电流 关系、导纳	122	4.2.3 耦合电感的并联	165
		4.2.4 耦合电感的 T 形等效	166
		4.3 空心变压器	168
		4.4 串联谐振	170
		4.5 并联谐振	175
		本章小结	178
		习题	179

第5章 三相电路.....182

5.1 三相电源和三相负载.....183

5.1.1 对称三相电源.....183

5.1.2 三相电源的连接.....185

5.1.3 三相负载的连接.....187

5.2 对称三相电路的分析.....192

5.2.1 负载星形接法的三相电路.....192

5.2.2 负载三角形接法的三相
电路.....1945.3 不对称三相电路的特点及
分析.....196

5.4 三相电路的功率.....198

5.4.1 对称三相电路的瞬时功率.....198

5.4.2 三相电路的平均功率(有功
功率).....199

5.4.3 三相电路的无功功率.....200

5.4.4 三相电路的视在功率.....200

本章小结.....202

习题.....204

第6章 二端口网络.....206

6.1 二端口网络的概念.....207

6.2 二端口网络的导纳参数和阻抗
参数.....208

6.2.1 导纳参数方程、导纳参数.....208

6.2.2 阻抗参数方程、阻抗参数.....211

6.3 二端口网络的传输参数和混合
参数.....214

6.3.1 传输参数方程、传输参数.....214

6.3.2 混合参数方程、混合参数.....216

*6.4 互易二端口网络的等效
电路.....219

6.5 二端口网络的级联.....221

6.6 理想变压器.....223

6.6.1 理想变压器的性质及伏安关系
(VCR).....2236.6.2 理想变压器的传输参数方程和
受控源模型.....224

本章小结.....226

习题.....227

第7章 非正弦周期电流电路.....229

7.1 非正弦周期电流.....230

7.2 周期函数分解为傅立叶级数.....231

7.2.1 周期函数的傅立叶级数.....231

7.2.2 波形对称性与傅立叶级数系数
的关系.....233

7.3 非正弦周期电流电路的分析.....236

7.4 非正弦周期量的有效值、平均值
和平均功率.....240

7.4.1 非正弦周期量的有效值.....240

7.4.2 非正弦周期量的平均值.....242

7.4.3 非正弦周期电流电路的平均
功率.....242

本章小结.....244

习题.....246

第8章 线性电路过渡过程的时域分析.....248

8.1 过渡过程的基本概念.....249

8.2 换路定律和初始值计算.....251

8.2.1 换路定律.....251

8.2.2 初始值的计算.....252

8.3 一阶电路的零输入响应.....254

8.3.1 RC电路的零输入响应.....254

8.3.2 RL电路的零输入响应.....258

8.4 一阶电路的零状态响应.....262

8.4.1 RC电路的零状态响应.....262

8.4.2 RL电路的零状态响应.....265

8.5 一阶电路的全响应.....270

8.5.1 全响应及其分解.....270

8.5.2 分析一阶电路全响应的三要
素法.....273

8.6 阶跃函数和一阶电路的阶跃

响应	279	10.1.3 实验课的进行	322
8.6.1 阶跃函数	279	10.1.4 实验报告的编写	323
8.6.2 一阶电路的阶跃响应	281	10.1.5 人身和设备安全	323
8.7 二阶电路的零输入响应	283	10.2 实验一 基尔霍夫定律和叠加定理的验证	323
8.7.1 RLC 串联电路零输入响应的方程和特征根	283	10.2.1 实验目的	323
8.7.2 RLC 串联电路零输入响应的方程的解	284	10.2.2 实验原理	323
本章小结	292	10.2.3 实验设备	324
习题	294	10.2.4 实验内容和步骤	324
*第9章 线性电路过渡过程的复频域分析	299	10.2.5 实验注意事项	325
9.1 拉普拉斯变换及其基本性质	300	10.2.6 预习与思考题	325
9.1.1 拉普拉斯变换	300	10.2.7 实验报告要求	325
9.1.2 拉普拉斯变换的基本性质	301	10.3 实验二 戴维南定理和诺顿定理的验证	325
9.2 部分分式法进行拉普拉斯反变换	304	10.3.1 实验目的	325
9.2.1 单根的情况	304	10.3.2 实验原理	325
9.2.2 共轭复根的情况	306	10.3.3 实验设备	327
9.2.3 重根的情况	307	10.3.4 实验内容和步骤	327
9.3 线性电路的复频域分析	309	10.3.5 实验注意事项	328
9.3.1 用拉普拉斯变换求解线性电路的过渡过程	309	10.3.6 预习与思考题	328
9.3.2 电阻、电感、电容元件的复频域模型	309	10.3.7 实验报告要求	328
9.3.3 基尔霍夫定律的复频域形式	311	10.4 实验三 交流电路基本参数的测量	328
9.3.4 欧姆定律的复频域形式	312	10.4.1 实验目的	328
9.3.5 线性电路的复频域分析	312	10.4.2 实验原理	328
本章小结	318	10.4.3 实验设备	329
习题	319	10.4.4 实验内容和步骤	329
第10章 电路基础实验指导	321	10.4.5 实验注意事项	330
10.1 实验须知	322	10.4.6 预习与思考题	330
10.1.1 实验课的目的	322	10.4.7 实验报告要求	331
10.1.2 实验课的要求	322	10.5 实验四 功率因数的提高	331
		10.5.1 实验目的	331
		10.5.2 实验原理	331
		10.5.3 实验设备	332
		10.5.4 实验内容和步骤	332
		10.5.5 实验注意事项	333
		10.5.6 预习与思考题	333
		10.5.7 实验报告要求	333
		10.6 实验五 互感的测量	334

10.6.1	实验目的	334	10.8.6	预习与思考题	343
10.6.2	实验原理	334	10.8.7	实验报告要求	343
10.6.3	实验设备	335	10.9	实验八 非正弦周期电流电路的测量	343
10.6.4	实验内容和步骤	335	10.9.1	实验目的	343
10.6.5	实验注意事项	337	10.9.2	实验原理	344
10.6.6	预习与思考题	337	10.9.3	实验设备	344
10.6.7	实验报告要求	337	10.9.4	实验内容和步骤	345
10.7	实验六 RLC 串联谐振电路的研究	337	10.9.5	实验注意事项	345
10.7.1	实验目的	337	10.9.6	预习与思考题	345
10.7.2	实验原理	338	10.9.7	实验报告要求	345
10.7.3	实验设备	339	10.10	实验九 RC 一阶电路暂态响应的研究	346
10.7.4	实验内容和步骤	339	10.10.1	实验目的	346
10.7.5	实验注意事项	340	10.10.2	实验原理	346
10.7.6	预习与思考题	340	10.10.3	实验设备	348
10.7.7	实验报告要求	341	10.10.4	实验内容和步骤	348
10.8	实验七 三相电路电压、电流的测量	341	10.10.5	实验注意事项	349
10.8.1	实验目的	341	10.10.6	预习与思考题	349
10.8.2	实验原理	341	10.10.7	实验报告要求	349
10.8.3	实验设备	341	参考书目		350
10.8.4	实验内容和步骤	342			
10.8.5	实验注意事项	343			

第1章

电路的基本概念和基本定律

本章的内容是贯穿全书的重要理论基础,将介绍电路与电路模型,电路的基本物理量,电流、电压参考方向的概念,以及作为进行电路分析基本依据的元件伏安关系和基尔霍夫定律等概念,并具体介绍三种基本的电路元件——电阻、电压源与电流源。最后还将介绍电路中各点电位的计算。



图1-1-1 电路模型

1.1 电路与电路模型

1.1.1 电路

电路是电流的通路，它是由某些电工设备或元件按一定方式连接起来为人们生产、生活完成某种功能的物质实体。较复杂的电路又称为电网络。“电路”和“网络”这两个术语通常是相互通用的。

电路根据它们的基本功能可以分为两大类，一类是实现电能的传输和转换。最典型的例子是电力系统，其电路示意图如图 1.1 (a) 所示，它包括电源、负载和中间环节三个组成部分。

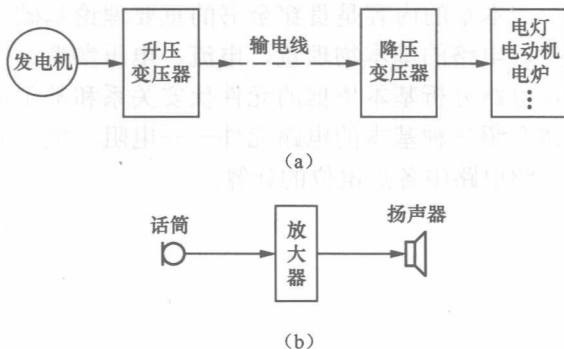


图 1.1 电路示意图

发电机是电源，是供应电能的设备。在发电厂内可把热能、水能或核能转化为电能。除发电机外，电池也是常见的电源。

电灯、电动机、电炉等都是负载，是取用电能的设备，它们分别把电能转化为光能、机械能、热能等。

变压器、输电线、开关及一些保护设备是中间环节，是连接电源和负载的部分，它起传输和分配电能以及控制和保护电气设备的作用。

另一类是实现信号的传递和处理。常见的例子如扩音机，其电路示意图如图 1.1 (b) 所示。它将话筒施加的信号先经过放大器的放大，然后再送到扬声器进行输出。话筒把语音或音乐（通常称为信息）转换为相应的电压和电流（电信号），是输出信号的设备，称为信号源，相当于电源，但与上述的发电机、电池这种电源不同，信号源输出的电信号的变换规律是取决于所加信息的。扬声器把电信号还原为语音或音乐，是接收和转换信号的设备，也就是负载。由于话筒输出的电信号比较微弱，不足以促使扬声器发音，因而采用中间环节（放大器）来放大，对信号起传递和放大作用。信号的这种转换和放大，称为信号的处理。收音机和电视机也是一种信号传递和处理电路，它们的接收天线（信号源）在接收载有语音、音乐、图像等信息的电磁波后把它们转换为相应的电信号，再经过调谐、变频、检波、放大等中间环节将其送到扬声器和显像管（负载），还原为原始信号。

不论是电能的传输和转换，还是信号的传递和处理，其中电源或信号源的电压或电流我们都可称之为激励，它推动电路的工作；由激励在电路各部分产生的电压和电流称为响应。所谓电路分析，就是在已知电路的结构和元件参数的条件下，讨论电路的激励与响应之间的

关系。

1.1.2 理想电路元件

组成实际电路的实际电路元件或器件可以是发电机、变压器、电动机、电池、晶体管、电子管以及各种电阻器、电感器和电容器等。由于它们的电磁性能比较复杂,所以为便于分析研究,我们常常在一定条件下将实际元件理想化(或称为模型化),以突出其主要的电磁性质,忽略其次要因素,把它近似地看作理想电路元件。例如在图 1.2 (a) 所示手电筒电路中,电珠不但发热而消耗电能,还会在其周围产生一定的磁场,若只考虑其消耗电能的主要性质而忽略其产生的磁场,则可以将电珠抽象为一个只有耗能特性的理想化电阻元件,其参数为电阻 R 。干电池不但在其正负极间保持恒定的电压对电珠提供电能,而且其内部也有一定的电能损耗,可以将其提供电能的性能用电压源元件表示,其参数为 U_s ,而内部电能损耗的性能用电阻元件表示,其参数为内阻 R_0 。导体与开关是连接干电池与电珠的中间环节,其电阻忽略不计,认为是一个无电阻的理想导体,这样就得到图 1.2 (b) 所示手电筒的电路模型。

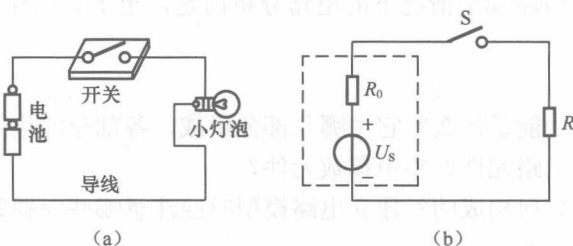


图 1.2 手电筒电路及其电路模型

如上所述,在一定条件下,我们可以用足以反映其电磁性能的一些理想电路元件或它们的组合来模拟实际电路中的器件。理想电路元件是一种理想化的模型,简称电路元件。要求这些电路元件只包含单一的电磁关系,即每个元件仅有一个电磁约束关系,且电磁过程均发生在元件内部,所以在任何时刻,从具有两个端钮的理想元件的某一端钮流入的电流恒等于从另一端钮流出的电流,并且元件两个端钮间的电压值也是完全确定的。凡端钮处的电流和端钮间的电压满足上述情况的电路元件称为集中参数元件,又称为集总参数元件。本书所涉及的理想电路元件有八种,即电阻元件、电压源元件、电流源元件、受控源元件、电感元件、电容元件、耦合电感元件和理想变压器元件。每种元件都将有其数学形式的定义,在电路(模型)图中,各种电路元件用规定的图形符号表示,图 1.3 所示为五种常见的电路元件。图 1.3 (a) 为电阻元件,图 1.3 (b) 为电感元件,图 1.3 (c) 为电容元件,它们都是无源元件;而图 1.3 (d) 是电压源元件,图 1.3 (e) 是电流源元件,它们都是有源元件。

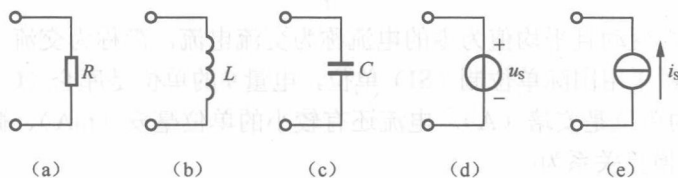


图 1.3 几种理想电路元件的电路模型

上述这些电路元件通过引出端互相连接。对具有两个引出端的元件,称为二端元件;对具有两个以上引出端的元件,称为多端元件。

1.1.3 电路模型

实际电路可以由一个或若干个电路元件经理想导体连接起来模拟,这便构成了电路模型。它是由集中参数元件构成的,故称为集中参数电路。这里再次强调,本课程所研究的是电路模型,而不是实际电路。对于电路模型的概念,再做几点补充:

(1) 电路模型是实际电路的科学抽象,是理想化的模型。它反映实际电路主要的电磁关系,并能用精确的数学式来表达,从而能较方便地通过对电路模型的分析推断出实际电路的主要性能。

(2) 由于人们对实际电路的电磁关系认识程度不同,以及对分析计算所要求的精确度不同,因而对同一个电路可能会得出不同的电路模型,所以电路模型都有一定的适用条件,如电压、电流和工作频率范围等。不同的使用场合和不同的精度要求,需要相适应的电路模型。一般地讲,模型越复杂,计算的精确度越高,但分析过程也越繁琐。

本书只讨论在给定电路模型情况下的电路分析问题,至于如何建立电路模型已超出本书讨论的范围。

【练习与思考】

1.1.1 电路的基本功能是什么?它由哪几部分组成,各部分的作用是什么?

1.1.2 什么是理想电路元件?集中参数元件?

1.1.3 电路模型是如何构成的?建立电路模型时应注意哪些问题?

1.2 电路的主要物理量

电路的主要物理量有电流、电压、功率和能量等。

1.2.1 电流及其参考方向

电荷(电子、离子等)有规则地定向移动形成电流。电流的大小是用单位时间内通过导体某一横截面的电量进行衡量的,称为电流强度,用符号 i 表示,即

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

当电流 i 的大小和方向均不变时,称为直流电流,简称为直流(DC),常用大写的 I 表示,相应地有

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

随时间作周期性变动且平均值为零的电流称为交流电流,简称为交流(AC)。

本书中的物理量采用国际单位制(SI)单位,电量 q 的单位是库仑(C),时间 t 的单位是秒(s),则电流 i 的单位是安培(A)。电流还有较小的单位毫安(mA)、微安(μ A)和纳安(nA),它们之间的换算关系为

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

电流是有方向的，习惯上规定正电荷运动的方向或负电荷运动的反方向为电流的实际方向。电流的方向是客观存在的。但在分析较为复杂的直流电路时，往往难于事先判断某支路中电流的实际方向；对交流讲，其方向随时间而变，在电路图上也无法用一个箭头来表示它的实际方向。为此，在分析与计算电路时，常可任意选定某一方向作为电流的参考方向，或称为正方向。所选的电流的参考方向并不一定与电流的实际方向一致。当电流的实际方向与其参考方向一致时，则电流为正值 [如图 1.4 (a) 所示]；反之，当电流的实际方向与其参考方向相反时，则电流为负值 [如图 1.4 (b) 所示]。因此，在选定参考方向之后，电流就成为一个代数量，其值才有正负之分。这样，就可以利用电流的参考方向和正负值来确定电流的实际方向。电流的参考方向在电流图中用箭头表示，也可以用双下标表示，例如 i_{ab} 表示参考方向是由 a 到 b，而 i_{ba} 表示参考方向由 b 到 a，显然有 $i_{ab} = -i_{ba}$ 。

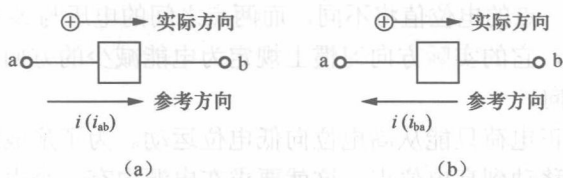


图 1.4 电流的参考方向

例 1.1 试分别指出图 1.5 (a)、(b)、(c) 所示二端元件中电流的实际方向。

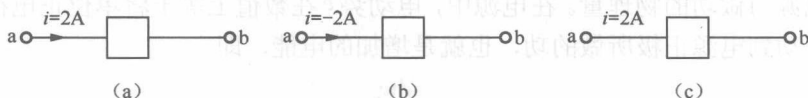


图 1.5 例 1.1 电路

解 图 1.5 中电流的实际方向分别为

(a) 由 a 至 b；

(b) 由 b 至 a；

(c) 不能确定。因为没有给出电流的参考方向。

例 1.2 试分别画出图 1.6 (a)、(b) 所示二端元件电流的参考方向：已知图 1.6 (a) 中电流的实际方向为由 a 至 b，图 1.6 (b) 中电流的实际方向为由 b 至 a。

解 图 1.6 (a) 中电流的参考方向应为由 a 至 b；

图 1.6 (b) 中电流的参考方向也应为由 a 至 b。

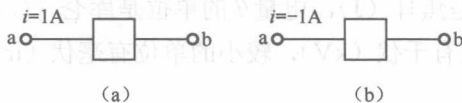


图 1.6 例 1.2 电路

1.2.2 电压、电位、电动势及其参考方向

电荷在电场力的作用下，顺着或逆着电场力的方向运动，电场力做功，将电能转变为其他形式的能量。电压是用来描述电场力做功的物理量。电路中 a、b 两点之间的电压 u_{ab} 在数值上等于电场力将单位正电荷由 a 点移动到 b 点所做的功，也就是所减少的电能，即

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

式中 dq 为由 a 点移动到 b 点的电荷, dw 为移动过程中电荷所减少的电能。

若任取一点 o 作为参考点, 则由某点 a 到参考点 o 的电压 u_{ao} 就称为 a 点的电位 V_a 。电路中某点的电位在数值上等于电场力将单位正电荷由该点沿任意路径移动到参考点所做的功。电位参考点可以任意选取, 常选择大地、设备外壳或接地点作为参考点。在一个连通的系统中只能选择一个参考点。参考点电位为零。电路的参考点一经选定, 电路中其余各点的电位都将有唯一确定的数值, 这称为电位的单值性原理。电路任意两点之间的电压就等于这两点的电位差, 即

$$u_{ab} = V_a - V_b \quad (1-4)$$

选取不同的参考点, 同一点的电位值将不同, 而两点之间的电压与参考点的位置无关。

电压也是有方向的, 它的实际方向习惯上规定为电能减少的方向, 即电位降低 (从高电位点到低电位点) 的方向。

在电场力作用下, 正电荷只能从高电位向低电位运动。为了形成连续的电流, 在电源中正电荷必须从低电位点移动到高电位点。这就要求在电源中有一个电源力作用在电荷上, 使之逆电场力方向运动, 反抗电场力做功, 并把其他能量转换成电能。例如在发电机中, 当导体在磁场中运动时, 导体内便出现这种电源力; 在电池中, 电源力存在于电极之间。电动势是用来描述电源力做功的物理量。在电源中, 电动势 e 在数值上等于将单位正电荷由电源负极经电源内部移动到电源正极所做的功, 也就是增加的电能, 即

$$e = \frac{dw_s}{dq} \quad (1-5)$$

式中 dq 为移动的电荷, dw_s 为移动过程中电荷所增加的电能。

电动势的实际方向习惯上规定为电能增加的方向, 即电位升高 (从低电位点到高电位点) 的方向, 也即由电源的负极指向正极。对于一个实际电源来说, 当没有电流流过, 内部没有电能消耗时, 其电动势和端电压 (正负极之间的电压) 必定是大小相等, 方向相反。

当电压 u 或电动势 e 的大小和方向均不变时, 称为直流电压、直流电动势, 分别用大写的 U 或 E 表示, 相应地有

$$U_{ab} = \frac{W}{Q}, \quad E = \frac{W_s}{Q} \quad (1-6)$$

当电能 w 、 w_s 的单位是焦耳 (J), 电量 q 的单位是库仑 (C), 则电压 u 、电动势 e 的单位为伏特 (V)。较大的单位有千伏 (kV), 较小的单位有毫伏 (mV)、微伏 (μV), 它们之间的换算关系为

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

与电流类似, 在分析与计算电路时, 可任意选定一个方向为电压、电动势的参考方向, 或称为正方向。在电路图中, 可用箭头、双下标或正负极性标出 (如图 1.7 所示), 也称为参考极性。

选定参考方向后, 电压、电动势就成为代数量。若参考

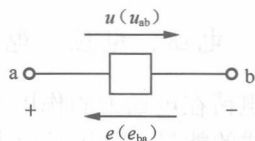


图 1.7 电压和电动势的参考方向

方向与实际方向一致, 则电压、电动势为正值; 若不一致, 则电压、电动势为负值。故根据预先任意选定的电压、电动势的参考方向及带正负值的数值, 便可确定电压、电动势的实际方向。显然, 在图 1.7 中有

$$u = u_{ab} = -u_{ba}, \quad e = e_{ba} = -e_{ab} \quad (1-7)$$

对于同一个开路的电源, 当端电压、电动势取相反的参考方向时 (如图 1.7 所示), 有

$$u = e, \quad u_{ab} = e_{ba}$$

而当端电压、电动势取相同的参考方向时, 有

$$u = -e, \quad u_{ab} = -e_{ba} \quad (1-8)$$

在分析计算电路时, 首先应该假定各电流、电压的参考方向, 然后根据所选定的参考方向列写电路方程。不论电流、电压、电动势等物理量是直流还是交流, 它们都是根据参考方向写出的。参考方向可以任意选定而不影响计算结果, 因为参考方向相反时, 解出的电压、电流值也要改变正负号, 最后得到的实际结果仍然相同。

任一电路的电流参考方向和电压参考方向可以分别独立地选定, 但是为了分析方便, 常选定同一元件的电流参考方向与电压参考方向一致, 即电流从电压的正极性端流入该元件并且从它的负极性端流出 [如图 1.8 (a) 所示], 称为关联参考方向。否则, 如图 1.8 (b) 所示的电流、电压参考方向为非关联参考方向。

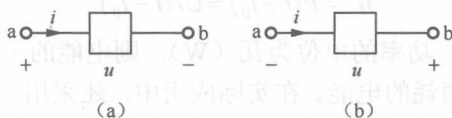


图 1.8 电压和电流的关联和非关联参考方向

例 1.3 试分别指出图 1.9 (a)、(b)、(c) 所示二端元件中电压的实际极性。

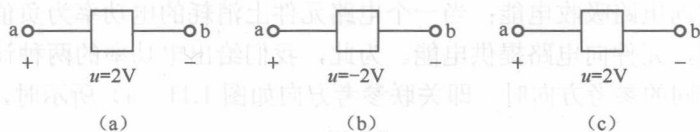


图 1.9 例 1.3 电路

解 图 1.9 所示电路中电压 u 的实际极性分别为

(a) a 点为高电位端;

(b) b 点为高电位端;

(c) 不能确定。因为没有给出参考极性。

例 1.4 试分别画出图 1.10 (a)、(b) 所示二端元件 a、b 两端电压的参考极性: 已知图

1.10 (a) 中电压的实际极性是 a 点为高电位端, 图

1.10 (b) 中电压的实际极性是 b 点为高电位端。

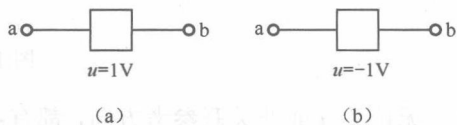


图 1.10 例 1.4 电路

解 图 1.10 (a) 中电压的参考极性应为 a (+),

b (-); 图 1.10 (b) 中电压的参考极性也应为 a (+),

b (-)。