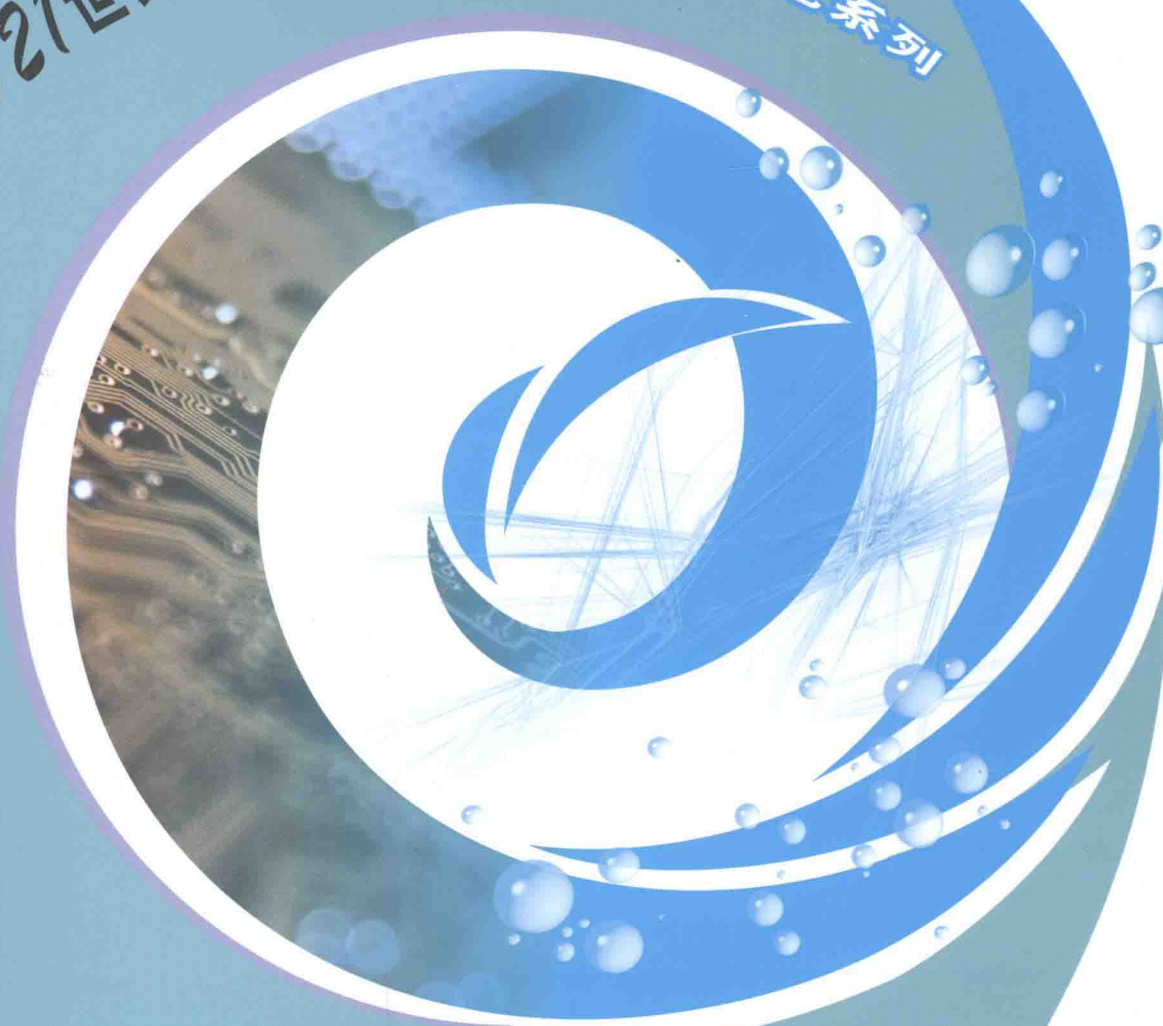




21世纪高职高专规划教材·机电系列



电路基础

邹大为 苏咏梅 主 编
谢海洋 王振宇 副主编



清华大学出版社
<http://www.tup.com.cn>



北京交通大学出版社
<http://press.bjtu.edu.cn>

责任编辑：赵彩云
特邀编辑：宋林静
责任美编：一克米工作室

21世纪高职高专规划教材·机电系列

电路及电工电子技术
电路基础
电工技术基础
电工技能实训指导
Protel 99 SE 电路设计与制板技术
信号处理与系统分析
模拟电子技术基础
数字电子技术基础
电机与电气控制
电工考工实训教程
测控电路及器件
传感器原理与检测技术
工业计算机控制技术——原理与应用
机械设计基础
数控加工技术与编程
现代机械制造技术基础实训教程
现代机电专业英语

.....

ISBN 978-7-5121-0700-7



9 787512 107007 >

定价：29.00元

21 世纪高职高专规划教材·机电系列

电 路 基 础

邹大为 苏咏梅 主 编
谢海洋 王振宇 副主编

清华大学出版社
北京交通大学出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书是依据高职的培养目标（面向生产、管理、服务第一线的技术应用型人才）来安排教材内容的，努力做到“理论以必需、够用为度”，在教学上着重培养和训练学生的分析问题和实际动手能力。教材中编入较多的典型例题和一些联系实际的例题，注意正文、例题练习题和习题间的紧密配合，并在每节后配有练习题，以便于学生很好地掌握内容。全书分为七章：电路的基本概念和定律；直流电路的基本分析方法；动态电路分析；正弦电路的稳态分析和计算；三相交流电路；互感耦合电路；双口网络。

本书可供高等职业学院、高等专科学校、成人高校及本科院校举办的二级职业技术学院和民办高校教学使用。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签，无标签者不得销售。

版权所有，侵权必究。侵权举报电话：010-62782989 13501256678 13801310933

图书在版编目（CIP）数据

电路基础 / 邹大为，苏咏梅主编. — 北京：清华大学出版社；北京交通大学出版社，2011.8

（21世纪高职高专规划教材·机电系列）

ISBN 978-7-5121-0700-7

I. ①电… II. ①邹… ②苏… 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（2011）第 169823 号

责任编辑：赵彩云 特邀编辑：宋林静

出版发行：清华大学出版社 邮编：100084 电话：010-62776969

北京交通大学出版社 邮编：100044 电话：010-51686414

印刷者：北京瑞达方舟印务有限公司

经 销：全国新华书店

开 本：185×260 印张：16.25 字数：421千字

版 次：2011年8月第1版 2011年8月第1次印刷

书 号：ISBN 978-7-5121-0700-7/TM·35

印 数：1~4 000册 定价：29.00元

本书如有质量问题，请向北京交通大学出版社质监组反映。对您的意见和批评，我们表示欢迎和感谢。
投诉电话：010-51686043，51686008；传真：010-62225406；E-mail：press@bjtu.edu.cn。

前 言

“电路基础”课程是高等职业技术学院电类、机类、信息类专业必修的一门课程。课程内容包括有关电路分析的一些最基本内容，有很强的实践性。通过本课程的学习使学生获得电路技术的基本理论和基本技能，为学习后续专业知识和从事工程技术工作、科学研究工作打下理论和实践基础。

本书是依据高职的培养目标（面向生产、管理、服务第一线的技术应用型人才）来安排教材内容的，努力做到“理论以必需、够用为度”，在教学上着重培养和训练学生的分析问题和实际动手能力。教材中编入较多的典型例题和一些联系实际的例题，注意正文、例题、练习题和习题间的紧密配合，并在每节结尾处配有一定数量的练习题，以便于学生很好地掌握内容。全书分为7章：电路的基本概念和基本定律；直流电路的基本分析方法；动态电路分析；正弦电路的稳态分析和计算；三相交流电路；互感耦合电路；双口网络。

本教材由辽宁机电职业技术学院的邹大为和郑州职业技术学院的苏咏梅担任主编，辽宁机电职业技术学院的谢海洋和郑州职业技术学院的王振宇担任副主编。第1章由王振宇编写，第2章由苏咏梅编写，第3章、第4章由邹大为编写，第5章由王继红编写，第6章、第7章由谢海洋编写。

由于编者水平所限，加之时间仓促，书中难免存在差错和疏漏之处，我们迫切期望广大读者及使用本教材的教师和学生对本书中存在的问题提出批评和建议（编者信箱：hdthzh@163.com），以便进一步修订和完善教材。

编者

2011年8月

目 录

第1章 电路的基本概念和基本定律	(1)
1.1 电路及电路模型	(1)
练习题	(3)
1.2 电路的基本物理量	(3)
1.2.1 电流	(3)
1.2.2 电压	(5)
1.2.3 电位	(6)
1.2.4 电动势	(8)
1.2.5 功率	(8)
练习题	(10)
1.3 电路的基本元件	(10)
1.3.1 电阻	(10)
1.3.2 电感	(15)
1.3.3 电容	(16)
1.3.4 电源	(17)
练习题	(21)
1.4 基尔霍夫定律	(21)
1.4.1 常用的电路名词	(21)
1.4.2 基尔霍夫电流定律	(22)
1.4.3 基尔霍夫电压定律	(24)
1.4.4 支路电流法	(26)
练习题	(28)
1.5 受控源	(29)
实训1 伏安法测电阻	(30)
实训2 电源电动势及内阻的测定	(31)
实训3 基尔霍夫定律的验证	(33)
本章小结	(34)
习题1	(35)
第2章 直流电路的基本分析方法	(39)
2.1 电路的等效	(39)
2.1.1 电阻的连接及等效	(39)

2.1.2	两种电源的等效变换	(47)
2.1.3	电路的工作状态	(49)
	练习题	(51)
2.2	网孔电流法	(52)
	练习题	(56)
2.3	结点电压法	(57)
2.3.1	结点电压法原理	(57)
2.3.2	结点电压法的求解步骤	(59)
	练习题	(61)
2.4	叠加定理	(61)
2.4.1	叠加定理的内容	(61)
2.4.2	叠加定理的注意事项	(63)
	练习题	(64)
2.5	戴维南与诺顿定理	(65)
2.5.1	戴维南定理	(66)
2.5.2	诺顿定理	(68)
	练习题	(69)
2.6	最大功率传输条件	(69)
	练习题	(71)
	实训4 叠加定理的验证	(71)
	实训5 戴维南定理和诺顿定理的验证	(72)
	本章小结	(75)
	习题2	(75)
第3章	动态电路分析	(79)
3.1	换路定律与初始值的计算	(79)
3.1.1	电路的动态过程	(79)
3.1.2	换路定律	(80)
3.1.3	初始值与初始值的计算	(80)
	练习题	(83)
3.2	一阶动态电路的零输入响应	(83)
3.2.1	RC 电路的零输入响应	(83)
3.2.2	时间常数	(85)
3.2.3	RL 电路的零输入响应	(87)
	练习题	(90)
3.3	一阶动态电路的零状态响应	(90)
3.3.1	RC 电路的零状态响应	(91)
3.3.2	RC 串联电路过渡过程的应用	(95)
3.3.3	RL 电路的零状态响应	(97)
	练习题	(99)

3.4	一阶动态电路的全响应与三要素分析法	(100)
3.4.1	一阶动态电路的全响应	(100)
3.4.2	一阶动态电路的三要素分析法	(101)
	练习题	(103)
实训6	电感元件和电容元件频率特性的测定	(103)
	本章小结	(105)
	习题3	(105)
第4章	正弦电路的稳态分析和计算	(109)
4.1	正弦交流电路的基本知识	(109)
4.1.1	正弦量的三要素	(109)
4.1.2	相位差	(110)
4.1.3	有效值	(112)
	练习题	(113)
4.2	正弦量的相量表示	(113)
4.2.1	复数的运算规律	(113)
4.2.2	相量形式的基尔霍夫定律	(116)
4.3	理想元件在正弦电路中的特性	(117)
4.3.1	R、L、C元件伏安关系的相量形式	(117)
4.3.2	基尔霍夫定律的相量形式	(122)
	练习题	(123)
4.4	阻抗与导纳	(124)
4.4.1	阻抗	(124)
4.4.2	用阻抗法分析串联电路	(125)
4.4.3	导纳	(128)
4.4.4	用导纳法分析并联电路	(129)
	练习题	(133)
4.5	电路基本元件的功率和能量	(134)
4.5.1	电阻元件的功率和能量	(134)
4.5.2	电感元件的功率和能量	(135)
4.5.3	电容元件的功率和能量	(137)
	练习题	(139)
4.6	正弦稳态电路中的功率	(139)
4.6.1	二端电路的功率	(139)
4.6.2	无功功率和复功率	(141)
4.6.3	最大功率传输	(142)
	练习题	(148)
4.7	正弦稳态电路的相量分析法	(148)
4.7.1	网孔分析法	(149)
4.7.2	结点电压法	(149)

4.7.3 等效电源法	(150)
练习题	(150)
4.8 电路的谐振	(151)
4.8.1 串联电路的谐振	(151)
4.8.2 并联电路的谐振	(154)
练习题	(156)
实训7 正弦稳态下 RL、RC 串联电路的特性	(156)
实训8 R、L、C 串联谐振电路	(158)
实训9 荧光灯电路和功率因数的提高	(161)
本章小结	(164)
习题4	(167)
第5章 三相交流电路	(171)
5.1 三相电源及连接	(171)
5.1.1 三相电动势的产生	(171)
5.1.2 三相电源的星形连接	(173)
练习题	(175)
5.2 三相负载及连接	(175)
5.2.1 三相负载的星形 (Y) 连接	(176)
5.2.2 三相负载的三角形 (Δ) 连接	(178)
练习题	(181)
5.3 三相电路的功率	(182)
练习题	(183)
实训10 三相交流电路电压、电流的测量	(184)
实训11 三相交流电源相序的测量	(186)
实训12 三相功率的测量	(188)
本章小结	(191)
习题5	(192)
第6章 互感耦合电路	(196)
6.1 互感	(196)
练习题	(200)
6.2 互感线圈的连接	(200)
6.2.1 耦合线圈的串联	(200)
6.2.2 耦合线圈的并联	(202)
6.2.3 耦合线圈的一端相连	(205)
练习题	(207)
6.3 空心变压器	(207)
练习题	(209)
6.4 理想变压器	(209)
6.4.1 理想变压器的伏安特性	(210)

6.4.2 理想变压器的阻抗变换	(211)
练习题	(213)
实训 13 互感耦合电路	(213)
本章小结	(216)
习题 6	(217)
第 7 章 双口网络	(220)
7.1 双口网络概述	(220)
7.2 双口网络的参数和方程	(221)
7.2.1 阻抗方程与开路参数	(221)
7.2.2 导纳方程与短路参数	(223)
7.2.3 传输方程与传输参数	(225)
7.2.4 混合方程与混合参数	(226)
7.2.5 实验参数	(227)
7.2.6 各种参数间的关系	(228)
练习题	(230)
7.3 双口网络的等效电路	(230)
7.4 网络的连接	(232)
7.4.1 双口网络的串联	(232)
7.4.2 双口网络的并联	(233)
7.4.3 双口网络的级联	(233)
练习题	(235)
7.5 网络函数	(235)
7.5.1 输入阻抗	(235)
7.5.2 输出阻抗	(236)
7.5.3 传输函数	(237)
练习题	(239)
本章小结	(239)
习题 7	(241)
附录 A 习题答案	(243)
参考文献	(250)

电路的基本概念和基本定律

本章首先介绍电路及电路模型的概念，讲述几种理想元件的特性，重点介绍直流电路的基本公式、基本定律，特别是在分析复杂直流电路时常用的基尔霍夫定律。这些基本公式和基本定律是分析、计算各种电路的重要依据。在实训实习方面，通过实训项目的学习，认识交、直流电源，掌握基本电工仪器仪表及常用电工工具的使用方法，会处理简单的实际电路问题，并为后续内容的学习及从事电工技术各个岗位的工作打下坚实的基础。

1.1 电路及电路模型

1. 电路的组成与作用

电路是电流的流通过径，它由一些用电设备和元器件按一定方式连接而成，例如，手机电路、电视机电路、集成电路等。复杂的电路呈网状，又称网络。现实中电路形式非常多，但从作用来看，主要有两种：电路的一种作用是实现电能的传输和转换；另一种作用是实现信号的处理。从组成来看，可分成三部分：一是在电路中提供电能或信号的部件称为电源，如发电机、干电池、话筒等；二是在电路中吸收电能或输出信号的部件称为负载，如电动机、照明灯、扬声器；三是中间环节，如开关、导线、控制器件等。电源能使电路产生电压或电流称为激励，它推动电路工作；由激励所产生的电压和电流称为响应。

手电筒电路就是一个简单的电路，如图 1-1 (a) 所示。

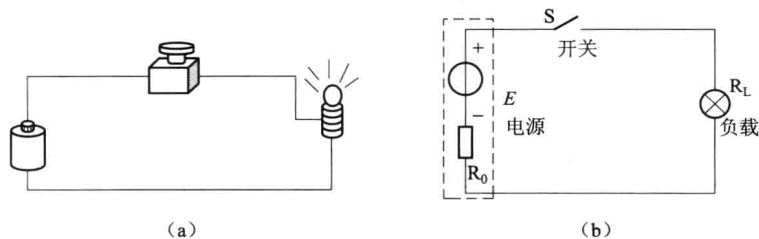


图 1-1 手电筒电路

这个电路是由一个电源（干电池）、一个负载（小电灯）、一个开关和若干导线（手电筒金属壳或金属条）所组成。

2. 电路模型

电路是由实际的电路元器件连接组成的。在画这些实际电路图时，没有必要去根据实物

画较为复杂的电路图，通常是用理想元件来表示实物。

实际电路中的元件虽然种类繁多，但在电磁现象方面却有共同之处。为了便于对电路进行分析和计算，常常把实际的元件加以近似化、理想化，在一定的条件下忽略其次要性质，用足以表征其主要特性的“模型”来表示，即用理想元件来表示。例如，电阻元件是一种只表示消耗电能的元件；电感元件是表示其周围空间存在着磁场而可以储存磁场能量的元件；电容元件是表示其周围空间存在着电场而可以储存电场能量的元件；电源元件是表示能够输出电能的元件。理想电路元件是一种理想化的模型，简称为电路元件。常见的电路元件有电阻元件、电感元件、电容元件和电源元件（理想电压源、理想电流源）等，如图 1-2 所示。其中理想电压源是一个具有两个端钮的理想电路元件，其端电压与通过它的电流无关，是一个恒定值；理想电流源是一个具有两个端钮的理想电路元件，其输出电流与端电压无关，是一个恒定值。

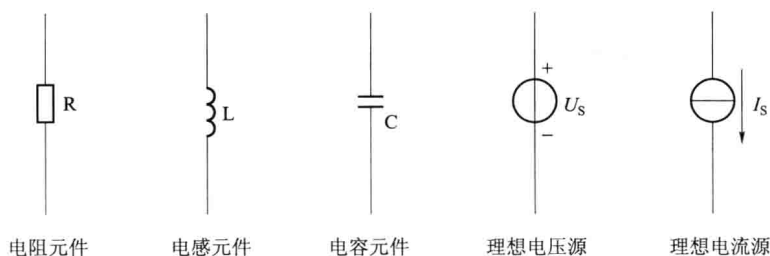


图 1-2 理想电路元件

当有电流通过时，电灯、电烙铁、电阻丝等，将电能转化为热能、光能等，其主要特征是消耗电能。这样，在电源频率不是十分高的电路中，将这些实际电路元件用“电阻元件”模型来近似地表示。同样，各类线圈可以用“电感元件”来近似地表示；各类电容器可以用“电容元件”来近似地表示；电池、发电机、太阳能电池等各类电源可以用“理想电压源”或“理想电流源”模型来近似地表示。

这种由理想元件构成的电路，就称为实际电路的“电路模型”，如图 1-1 (b) 所示。今后本书中未加特殊说明时，电路均指这种电路模型，元件均指理想电路元件。在设计、安装或维修各种用电设备的实际电路中，常用特定符号表示各个元器件的连接情况。这种用规定元器件的图形符号来表示实际电路连接情况的图称为电路图。对这些特定的图形符号国家标准都有统一的规定，使用时一定要遵守。表 1-1 列出了几种常用元器件的标准图形符号。

表 1-1 几种常用元器件的标准图形符号

元 件 名 称	符 号	元 件 名 称	符 号
固定电阻		电容	
可调电阻		可调电容	
电池		无铁芯的电感	
电流表		有铁芯的电感	
电压表		不连接的交叉导线	

续表

元 件 名 称	符 号	元 件 名 称	符 号
电压源		相连接的交叉导线	
电流源		接地	
开关		熔丝	

练 习 题

1. 什么是理想元件？什么叫电路模型？建立电路模型时应注意什么问题？
2. 试以如图 1-3 所示电路为例，说明电路的作用与组成。

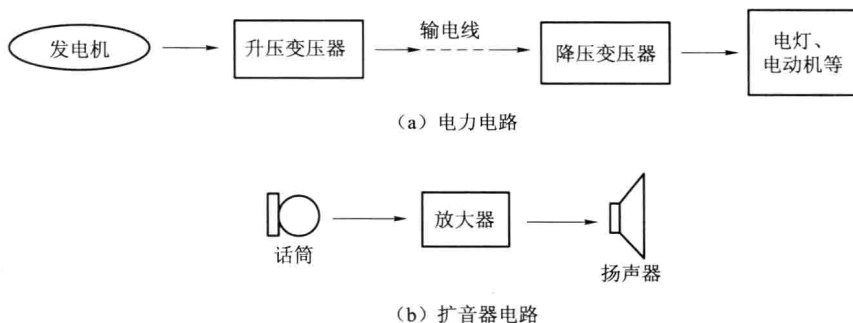


图 1-3 电力电路与扩音器电路

3. 试找出几个身边的电路，并说出电路的组成与作用。
4. 统计出学过的电路元件符号，并说明各个元器件的作用。

1.2 电路的基本物理量

电路分析中常常用到电流、电压、电位、电动势、功率等物理量，本节对这些物理量以及与它们有关的概念进行简要的说明。

1.2.1 电流

在初中物理中已经学过，带电粒子（电子、离子等）的定向移动形成电流。如导体中的自由电子，电解液和已电离的气体中的正、负离子，半导体中的自由电子和空穴，都属于带电粒子。习惯上将正电荷定向移动的方向规定为电流的实际方向，则带负电荷的粒子（如自由电子、负离子、电子流等）等的定向移动的方向为电流的反方向，通电的半导体中的两种带电粒子相反的定向移动则形成同一方向的电流。

电流的大小常常用电流强度来衡量。电流强度习惯上又被简称电流，即为单位时间内通过导体横截面的电荷量，用 i 表示，有

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

式中， dq 为在 dt 时间内通过导体横截面的电荷量。

方向不随时间发生变化的电流称为直流，其中大小和方向都不随时间发生变化的电流叫做恒定直流（或稳恒直流），常简称为 dc 或 DC，如图 1-4 所示；大小随时间发生变化的电流叫脉动直流如图 1-5。大小和方向都随时间发生变化的电流叫做交流，其中大小和方向都随时间按照周期性发生变化的电流叫做周期性交流，如图 1-6、图 1-7 所示；其中按正弦规律变化的交流称为正弦交流，常简称为 ac 或 AC，如图 1-6 所示；反之，称为非周期性交流。



图 1-4 恒定直流

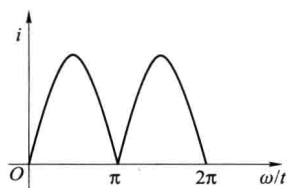


图 1-5 脉动直流

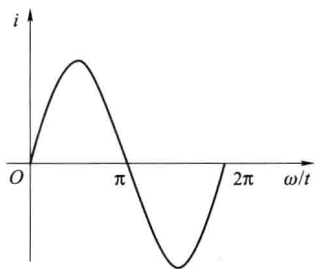


图 1-6 正弦交流

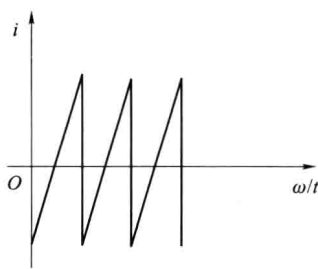


图 1-7 周期性交流

在直流电路中，单位时间内通过导体横截面的电荷量是恒定不变的，电流用 I 表示，有

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

在国际单位制（SI）中，电荷量的单位是库仑（C）；时间的单位是秒（s）；电流的单位为安培，简称为安（A），它相当于 1 秒（s）内通过导体横截面的电荷量为 1 库仑（C）。有时也会用到千安（kA），毫安（mA），微安（ μA ）等单位。

$$\begin{aligned} 1 \text{ kA} &= 10^3 \text{ A} & 1 \text{ A} &= 10^3 \text{ mA} \\ 1 \text{ A} &= 10^6 \mu\text{A} & 1 \text{ mA} &= 10^3 \mu\text{A} \end{aligned}$$

对于复杂的电路，如图 1-8 所示，各段电路内部的电流实际方向很难立即确定，为了分析和计算的方便，引入电流参考方向的概念。电流的参考方向为任意选定的方向。电流实际方向用虚线箭头表示；电流参考方向用实线箭头或双下标（如 i_{ab} ，电流由 a 点流向 b 点，并有 $i_{ba} = -i_{ab}$ ）表示。当电流的实际方向与其参考方向一致时，则电流为正值（ $i > 0$ ）；当电流的实际方向与其参考方向相反时，则电流为负值（ $i < 0$ ），如图 1-9 所示。

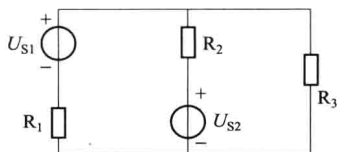


图 1-8 复杂直流电路

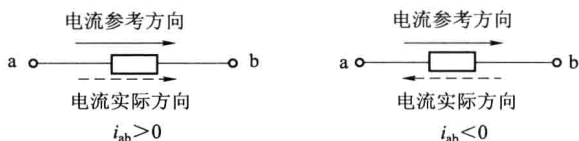


图 1-9 电流的实际方向与其参考方向关系

可见，在选定参考方向后，电流值才有正负之分。如果没有选定参考方向，电流值的正负则无任何意义。

例 1-1 如图 1-10 所示部分电路，已知 $I=1\text{ A}$ ，试判断各电路中电流的实际方向。

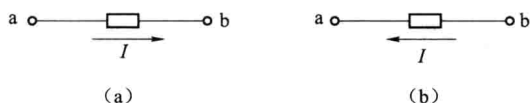


图 1-10 部分电路

解：因为 $I=1\text{ A}$ ， $I>0$ ，则电流 I 的实际方向与电路中所选定的参考方向一致。

即在图 1-10 (a) 中，电流 I 的实际方向从 a 指向 b；在图 1-10 (b) 中，电流 I 的实际方向从 b 指向 a。

1.2.2 电压

在电路中，电流的流动说明电场力对电荷做了功。这样，电路中 a、b 两点间的电压是单位正电荷在电场力的作用下由 a 点移动到 b 点时电场力所做的功，即

$$U_{ab} = \frac{dW}{dq} \quad (1-3)$$

式中， dq 为由 a 点移动到 b 点的电荷量， dW 为移动过程中电场力所做的功（也为电荷在这个过程中所减少的电能）。

电压的国际单位（SI）是伏特，符号为 V，即电场力将 1 C 正电荷由 a 点移动到 b 点过程中所做的功为 1 J 时，a、b 两点间电压为 1 V。常用的单位：千伏（kV）、毫伏（mV）、微伏（ μV ）等。

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

电压的实际方向习惯上规定为使正电荷电能减少的方向，即在电路中与电场力的方向相同。与电流一样，电压的参考方向在电路中也是任意选定的。若电压的参考方向与实际方向一致，电压值为正；若电压的参考方向与实际方向相反，电压值为负。

电压参考方向可以用实线箭头、正负极性或双下标表示，如图 1-11 所示。

在电路中，电流参考方向的选定与电压参考方向的选定是无关系的。如果对一段电路或一个元件，电压、电流的参考方向选取一致，即电流从标以电压的“+”极性端流入，从标以“-”极性的一端流出，即为关联参考方向，简称关联方向；反之，电压、电流的参考方向选取相反，即电流从标以电压的“-”极性端流入，从标以“+”极性的一端流出，即为非关联参考方向，简称非关联方向，如图 1-12 所示。

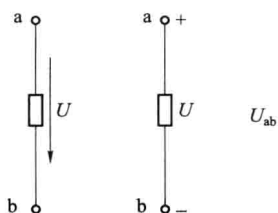


图 1-11 电压参考方向的表示方法

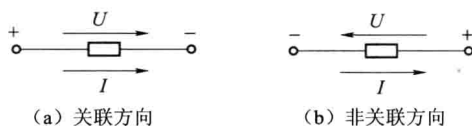


图 1-12 电压、电流参考方向关系

由以上叙述知，在分析电路时要注意以下几点。

(1) 实际方向是在物理分析中习惯上规定的，而参考方向则是在进行电路分析时任意选定的。

(2) 在解题过程中，一定要先选定参考方向，然后再列方程计算。缺少参考方向的物理量是无任何意义的。

(3) 根据计算结果确定实际方向。若计算结果为正值，表明实际方向与参考方向一致；反之，若计算结果为负值，则表明实际方向与参考方向相反。

(4) 为避免列方程时出错，同时减少计算工作量，习惯上把电阻元件电压、电流的参考方向选为关联方向。

例 1-2 如图 1-13 所示电路中，已知直流电流 $I=2\text{ A}$ 、 $U=-1\text{ V}$ ，试判断电流或电压的实际方向。

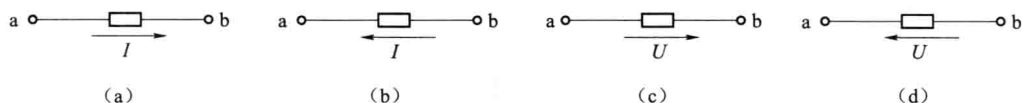


图 1-13 部分电路

解：根据图 1-13 中所示电流 I 以及电压 U 的参考方向，可得：

在图 1-13 (a) 中电流 I 的实际方向是由 a 指向 b。

在图 1-13 (b) 中电流 I 的实际方向是由 b 指向 a。

在图 1-13 (c) 中电压 U 的实际方向是由 b 指向 a。

在图 1-13 (d) 中电压 U 的实际方向是由 a 指向 b。

1.2.3 电位

因为电流的流动说明了电场力对电荷做了功，则电荷在电路的某一点上具有一定的电位。要确定电位的大小，必须在电路上选择一参考点作为基准点。正电荷在某点所具有的电位就等于电场力把正电荷从某点移到参考点所做的功。在如图 1-14 所示的电路中，以 o 点为参考点，则正电荷在 a 点所具有的电能 W_a 与正电荷所带电量 Q 的比值，称为电路中 a 点的电位（即是由该点到参考点间的电压），用 V_a 表示，即

$$V_a = \frac{W_a}{Q} = U_{ao} \quad (1-4)$$

电位的单位是焦耳/库仑 (J/C)，称为伏特，简称伏 (V)。

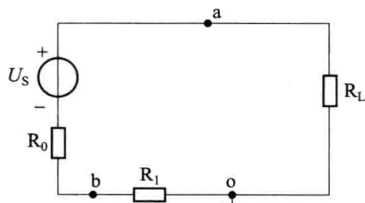


图 1-14 电位图

同样的，b 点的电位 $V_b = U_{bo}$ 。

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

式 (1-5) 说明，电路中 a 点到 b 点的电压等于 a 点电位与 b 点电位之差。当 a 点电位高于 b 点电位时， $U_{ab} > 0$ ；当 a 点电位低于 b 点电位时， $U_{ab} < 0$ 。电压的实际方向就是从高电位点指向低电位点。

参考点的选择是任意的，在实际电路中常以机壳或大地为参考点，参考点的电位通常设为零，即把机壳或大地的电位规定为零电位，零电位的符号为“⊥”。电路中某点电位的高低是相对于参考点而言的，参考点不同，则各点电位的大小也不同。但参考点一经选定，则电路中各点的电位就是一定值。电位高于零电位为正值，电位低于零电位为负值。

例 1-3 如图 1-15 所示电路，试分别以 a、d 点为参考点，计算：(1) 各点的电位；(2) a、c 点的电压 U_{ac} 及 b、d 点间的电压 U_{bd} 。

解：以 a 点为参考点，则 $V_a = 0$ 。

$$\begin{aligned} V_d &= -1 \text{ V} \\ V_b &= V_d + 4 = 3 \text{ V} \\ V_c &= V_d + 6 = 5 \text{ V} \\ U_{ac} &= V_a - V_c = -5 \text{ V} \\ U_{bd} &= V_b - V_d = 4 \text{ V} \end{aligned}$$

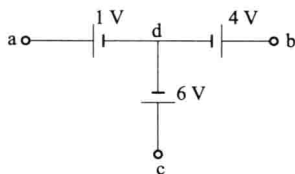


图 1-15 例 1-3 图

以 d 点为参考点，则 $V_d = 0$ 。

$$\begin{aligned} V_a &= 1 \text{ V}, \quad V_b = 4 \text{ V}, \quad V_c = 6 \text{ V} \\ U_{ac} &= V_a - V_c = -5 \text{ V} \\ U_{bd} &= V_b - V_d = 4 \text{ V} \end{aligned}$$

由例 1-3 可以得出结论：电路中各点的电位是相对值，与参考点的选择有关；而两点间的电压是绝对值，与参考点的选择无关。