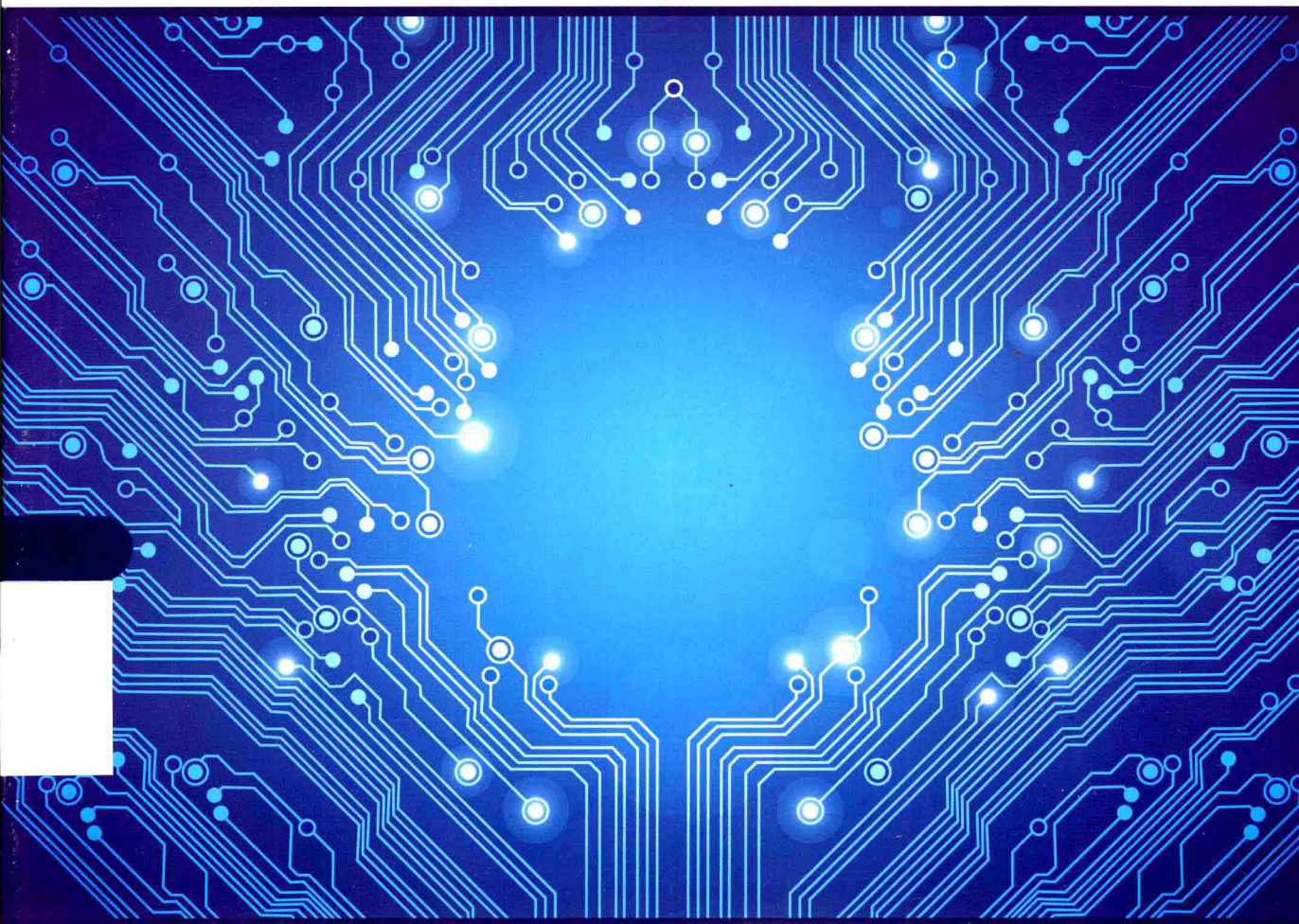




普通高等教育“十二五”应用型本科规划教材

电 工 学

主编 朱荣 晋帆



 中国人民大学出版社



普通高等教育“十二五”应用型本科规划教材

电 工 学

主编 朱 荣 晋 帆

中国人民大学出版社

• 北京 •

图书在版编目 (CIP) 数据

电工学/朱荣, 晋帆主编. —北京: 中国人民大学出版社, 2015. 6

普通高等教育“十二五”应用型本科规划教材

ISBN 978-7-300-21490-0

I. ①电… II. ①朱… ②晋… III. ①电工技术-高等学校-教材 IV. ①TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 132905 号

普通高等教育“十二五”应用型本科规划教材

电工学

主 编 朱 荣 晋 帆

Diangongxue

出版发行 中国人民大学出版社

社 址 北京中关村大街 31 号

邮政编码 100080

电 话 010-62511242 (总编室)

010-62511770 (质管部)

010-82501766 (邮购部)

010-62514148 (门市部)

010-62515195 (发行公司)

010-62515275 (盗版举报)

网 址 <http://www.crup.com.cn>

<http://www.ttrnet.com> (人大教研网)

印 刷 北京密兴印刷有限公司

规 格 185 mm×260 mm 16 开本

版 次 2015 年 8 月第 1 版

印 张 23.25

印 次 2015 年 8 月第 1 次印刷

字 数 534 000

定 价 48.00 元

版权所有 侵权必究

印装差错 负责调换



前 言

近年来,发展应用型本科教育、培养本科层次的应用型人才,成为许多高等院校的办学定位和培养目标。本书针对应用型本科、职业本科教育模式对学科基础课的要求,由多年从事教学、科研的一线教师编写而成。在内容取材及安排上,以“必需”和“够用”为度,讲清概念、强化应用,在基本理论的基础上配有一些深入浅出的应用项目,注重技能培养。

本书系统地介绍了电工学的基本内容,重点放在与电工学有关的基本理论、基本知识和基本技能上,以及各非电类专业的一般岗位对电工知识的实际需要上,强调学生基本技能培养。全书共分14章,内容包括电路的基本概念与分析方法,电路的暂态分析,正弦交流电路,三相交流电路及供电用电,磁路与变压器,电动机,电气自动控制技术,常用半导体器件,基本放大电路,集成运算放大器,直流稳压电源,门电路与组合逻辑电路,触发器与时序逻辑电路,模拟量与数字量转换电路。每章配有习题,供读者思考和练习。

本书由朱荣、晋帆主编。本书编写工作分工如下:第1、2章由刘涛编写,第5、7、8章由仇月仙编写,第9、10、11章由邹艳琼编写,第3、4、6、12、13、14章和附录由朱荣编写,全书修改统稿由朱荣老师完成。本书由云南大学戴宏教授主审,编写过程中得到了昆明理工大学的梁浩雁、周凯锋等老师的大力协助,在此表示衷心感谢。

由于我们水平有限,书中难免有错误和不妥之处,敬请读者批评指正。

昆明理工大学城市学院

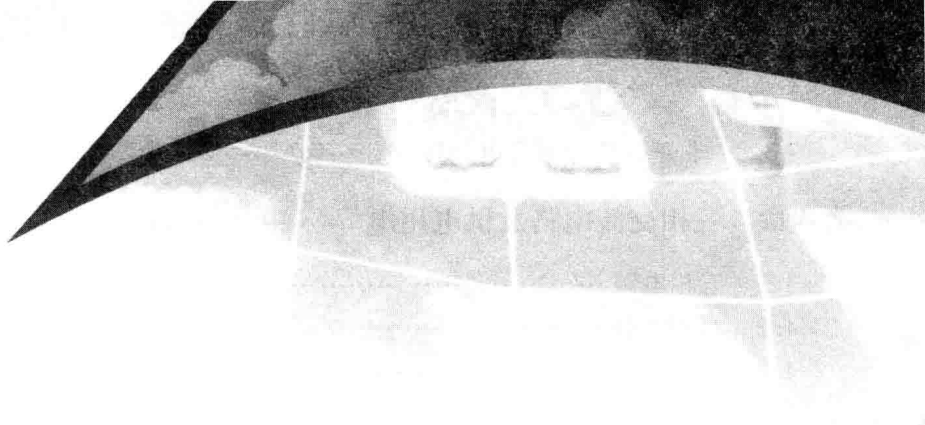
2015年2月2日

教师信息反馈表

为了更好地为您服务，提高教学质量，中国人民大学出版社愿意为您提供全面的教学支持，期望与您建立更广泛的合作关系。请您填好下表后以电子邮件或信件的形式反馈给我们。

您使用过或正在使用的我社教材名称		版次	
您希望获得哪些相关教学资料			
您对本书的建议（可附页）			
您的姓名			
您所在的学校、院系			
您所讲授的课程名称			
学生人数			
您的联系地址			
邮政编码		联系电话	
电子邮件（必填）			
您是否为人大社教研网会员	☐ 是，会员卡号：_____ ☐ 不是，现在申请		
您在相关专业是否有主编或参编教材意向	☐ 是 ☐ 否 ☐ 不一定		
您所希望参编或主编的教材的基本情况（包括内容、框架结构、特色等，可附页）			

我们的联系方式：北京市西城区马连道南街 12 号
 中国人民大学出版社应用技术分社
 邮政编码：100055
 电话：010-63311862
 网址：<http://www.crup.com.cn>
 E-mail：rendayingyong@163.com



目 录

前言	i
第1章 电路的基本概念与分析方法	1
1.1 电路的基本概念	1
1.2 电压和电流的参考方向	4
1.3 电路模型及电路元件	7
1.4 基尔霍夫定律	11
1.5 支路电流法	14
1.6 结点电压法	15
1.7 叠加定理	17
1.8 戴维宁定理与诺顿定理	19
1.9 电路中电位的计算	22
* 1.10 非线性电阻电路	23
第2章 电路的暂态分析	30
2.1 储能元件	30
2.2 换路定律与电路初始值的确定	32
2.3 一阶电路的暂态分析	34
* 2.4 一阶电路的矩形波响应	41
第3章 正弦交流电路	47
3.1 正弦电压和电流	47
3.2 正弦量的相量法	49
3.3 单一参数交流电路	52
3.4 RLC 串联交流电路	57
3.5 阻抗的串联与并联	61
3.6 功率因数的提高	63
* 3.7 串联谐振电路	65

* 3.8 非正弦周期信号电路	68
第4章 三相交流电路及供电用电	75
4.1 三相电源	75
4.2 三相负载	78
4.3 三相功率	82
4.4 安全用电	83
第5章 磁路与变压器	90
5.1 磁路	90
5.2 变压器	94
5.3 三相变压器	99
* 5.4 特殊变压器	100
第6章 电动机	107
6.1 三相异步电动机的结构	107
6.2 三相异步电动机的工作原理	109
6.3 三相异步电动机的机械特性	114
6.4 三相异步电动机的起动	116
6.5 三相异步电动机的使用	120
6.6 三相异步电动机的调速	122
* 6.7 单相异步电动机	123
* 6.8 直流电动机	126
* 6.9 控制电动机	130
第7章 电气自动控制技术	136
7.1 常用控制电器	136
7.2 直接起动控制	142
7.3 正反转控制	145
7.4 时间控制与顺序控制	146
7.5 行程控制	148
* 7.6 可编程控制器	150
第8章 常用半导体器件	163
8.1 半导体基础知识	163
8.2 半导体二极管	166
8.3 双极型晶体管	170
* 8.4 场效应晶体管	175

第9章 基本放大电路	185
9.1 共发射极放大电路的组成	185
9.2 放大电路的静态分析	186
9.3 放大电路的动态分析	187
9.4 静态工作点的稳定	194
9.5 射极输出器	197
* 9.6 场效应管放大电路	199
9.7 多极放大电路	202
9.8 差动放大电路	204
9.9 功率放大电路	208
第10章 集成运算放大器	216
10.1 集成运算放大器	216
10.2 负反馈的基本概念	220
10.3 基本运算电路	225
10.4 电压比较器	230
10.5 RC 正弦波振荡器	234
* 10.6 有源滤波器	236
10.7 集成运算放大器使用时应注意的问题	239
第11章 直流稳压电源	246
11.1 整流电路	247
11.2 滤波电路	249
11.3 稳压二极管稳压电路	252
11.4 集成稳压电路	253
11.5 晶闸管及其应用	256
11.6 可控整流电路	259
第12章 门电路与组合逻辑电路	267
12.1 脉冲信号	267
12.2 分立元件门电路	269
12.3 集成门电路	272
12.4 组合逻辑电路的分析与设计	276
12.5 加法器	282
12.6 编码器	284
12.7 译码器和数字显示	287
* 12.8 存储器和可编程逻辑器件	290
* 12.9 应用举例	297

第 13 章 触发器与时序逻辑电路	305
13.1 双稳态触发器	305
13.2 寄存器	313
13.3 计数器	315
13.4 555 定时器及其应用	323
* 13.5 应用举例	326
第 14 章 模拟量与数字量转换电路	334
14.1 D/A 转换器	334
14.2 A/D 转换器	338
部分习题答案	345
附录	351
附录 I 电阻器、电容器的标称系列值	351
附录 II 半导体器件的型号命名法	352
附录 III 常用的整流二极管型号及性能	353
附录 IV 国产硅高频小功率晶体管参数	354
附录 V 国产半导体集成电路型号命名方法	355
附录 VI 常用半导体集成电路型号和参数	356
附录 VII 几种常用的 TTL 数字集成电路引脚图	357
参考文献	360

第1章

电路的基本概念与分析方法

本章是在物理学的基础上,介绍电路的基本知识、基本定律以及电路的分析和计算方法。电路分析的典型问题是要求给定电路的工作情况,对电压、电流及功率进行分析和计算。本章主要对直流电阻电路进行分析,所应用的基本定律、分析方法及所得出的结论也适用于交流电路。因此本章是电工学最为基础的内容,其中的许多重要结论始终贯穿全书。

1.1 电路的基本概念

在日常生活、工农业生产、科研以及国防中,使用着各种各样的电器设备,如照明电灯、计算机、程控交换机、电视机等,这些电器设备都是由实际的电路构成的。

一、电路的组成与作用

电路(electric circuit)是电流的通路,它由电器设备或元器件通过导线按一定方式连接组成,以实现一定功能。电路的结构按其功能不同,可以简单到由几个元件组成,如手电筒电路;也可以复杂到由上千个甚至数万个元件组成,如电力供电系统。

电路由电源、负载和中间环节三个部分组成。电源(electric source)是将非电能量转换为电能的设备,如电池、发电机等。负载(load)是将电能转换为非电能量的设备,如灯泡、电动机等。中间环节起沟通电路和输送电能的作用,如导线、开关、变压器、放大器等。手电筒电路(图1—1)是一个最简单的电路,它由电池、灯泡、手电筒壳(开关)组成。电池是电源,灯泡是负载,导线和开关为中间环节,手电筒电路模型如图1—2所示。



图 1—1 手电筒电路

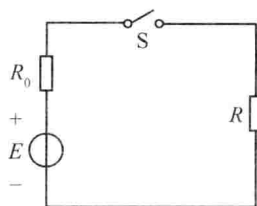


图 1—2 手电筒电路模型

通常电源自身的电流通路称为内电路 (internal circuit), 电源以外的电流通路称为外电路 (external circuit)。电压或电流的大小和方向均不随时间变化的电路称为直流电路 (direct current circuit, 简称 DC), 电压或电流随时间按正弦规律变化的电路称为交流电路 (alternating current circuit, 简称 AC)。

实际电路种类繁多, 但就其功能来说, 电路的作用大致可分为以下两方面: 一方面实现能量的转换和传输, 如电力供电电路。另一方面实现信号的传递和处理, 如电话线路、放大电路; 此外还有测量电路, 如万用表电路, 可以测量电压、电流和电阻等等。

在电能的传输和转换或者信号的传递和处理中, 其电源或者信号源的电压或者电流称为激励 (excitation), 它推动电路工作; 由于激励在电路中产生的电压或电流称为响应 (response)。所谓电路分析, 就是在已知电路的结构和元件参数下, 分析电路在激励作用下的响应问题。

二、电路的工作状态

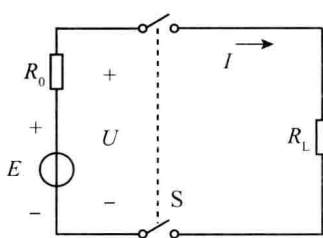


图 1—3 电路的有载状态

电路中的电流一旦建立, 电源就源源不断地向负载输送电能, 这就是电路的有载状态。由于种种原因, 工作于有载状态的电路也可能转化为开路状态或短路状态。以图 1—3 所示电路为例, 讨论电路处于上述三种状态时的电流、电压及功率。

1. 有载状态

如图 1—3 所示, 电路中若双联开关 S 闭合, 电源与负载接通, 电路处于有载 (loaded) 状态。电路中的电流为

$$I = \frac{E}{R_0 + R_L}$$

显然, 负载电阻愈小, 则电流愈大。电源的端电压为

$$U = E - IR_0 \quad (1-1)$$

可见, 电流 I 愈大, IR_0 愈大, U 下降得愈多。

电源内阻一般都很小, 当 $R \gg R_0$ 时, $U \approx E$ 。这时负载电流变化时, 电源端电压变化不大。同时, 电源发出的功率为

$$P = UI = (E - IR_0)I = EI - I^2 R_0 \quad (1-2)$$

式中 EI 为电源产生的功率, $I^2 R_0$ 为电源内部损耗在内阻 R_0 上的功率。

任何一个电器设备或元件都有标准使用规格, 称为额定值 (rated value)。额定值是根据用户需要和制造厂生产技术的可能, 并考虑到安全、经济、维修、使用方便等因素, 由用户和制造厂双方协商决定的。一般电器设备或元件都规定有额定电压 U_N 、额定电流 I_N 、额定功率 P_N 等。工业与民用电器设备的额定值通常标在设备的铭牌上, 使用时应尽量让设备按额定值工作。这种工作状态称为额定状态 (rated condition), 也是电路的最佳工作状态。

例如, 在电力供电方面, 需制定一系列的等级标准, 交流输电有 500 kV、330 kV、

220 kV、110 kV、380 V、220 V、110 V 等，蓄电池有 6 V、12 V、24 V 等，干电池有 1.5 V、3 V、6 V、9 V 等。电器设备或元件根据使用场所，规定了各自的额定电压。

电压、电流和功率的实际值不一定是额定值，电器设备或元件的工作电流超过额定电流时称为过载或超载（over load），工作电流低于额定电流时称为欠载或轻载（light load），工作电流等于额定电流时称为满载（fully loaded）。

2. 开路状态

工作在额定状态的电路（图 1—3）中，当开关断开、熔断器烧断或电路某处发生断线时，电路处于开路（open circuit）状态。开路后的电源，因外电路的电阻无穷大，电流为零，电源不输出功率，电路这时所处的状态为空载（no load）。开路的特征为

$$\begin{aligned} I &= 0 \\ U &= E - IR_0 = E \\ P &= 0 \end{aligned}$$

此时的端电压叫作电源的开路电压 U_{OC} ，即 $U_{OC} = E$ 。上式给出了一种测量电动势的简便方法：用万用表测量电源的开路电压，所得值就是电动势。

3. 短路状态

当电路绝缘损坏、接线不当或操作不慎时，会在负载或电源端造成电源直接接触碰或搭接，电路出现短路（short circuit），如图 1—4 所示。因 R_0 很小，所以电流很大，称为短路电流（short circuit current） I_S 。短路后负载的电流、电压和功率都为零，但电源仍存在输出功率 P_E ，短路的特征为

$$\begin{aligned} I &= I_S = \frac{E}{R_0} \\ U &= 0 \\ P_E &= I_S^2 R_0, P = 0 \end{aligned}$$

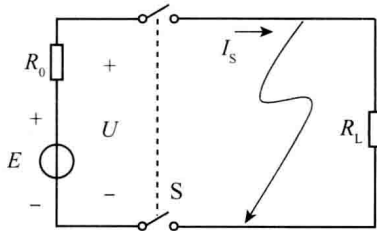


图 1—4 电路的短路状态

短路电流在电源内部产生的功率损耗使电源迅速发热。若不立即排除短路故障，电源容易被烧毁。为防止短路事故，一般在电路中接入熔断器或自动断路器。应当指出，短路并不一定造成事故。例如，电焊机工作时，焊条与工作面接触也是短路，但不是事故。

综上所述，在电路的三种状态中，有载状态是电路的基本工作状态，而开路状态和短路状态只是电路的两个特殊状态。

【例 1—1】 有一直流电源，其额定功率 $P_N = 160 \text{ W}$ ，额定电压 $U_N = 40 \text{ V}$ ，内阻 $R_0 = 0.5 \Omega$ ，负载电阻 R_L 可以调节，电路如图 1—5 所示。试求：（1）额定工作状态下的电流及负载电阻；（2）开路状态下的电源端电压；（3）电源短路状态下的电流。

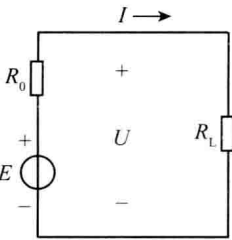


图 1—5 例 1—1 的图 负载电阻

解 （1）额定电流

$$I_N = \frac{P_N}{U_N} = \frac{160}{40} \text{ A} = 4 \text{ A}$$

$$R_L = \frac{U}{I} = \frac{40}{4} \Omega = 10 \Omega$$

(2) 开路状态下的电源端电压

$$U_0 = E = U + R_0 I = 40 + 0.5 \times 4 \text{ V} = 42 \text{ V}$$

(3) 电源短路状态下的电流

$$I_s = \frac{E}{R_0} = \frac{42}{0.5} \text{ A} = 84 \text{ A}$$

练习与思考

1.1.1 对并联的负载而言, 负载电阻减小时, 其等效负载是增加还是减小了?

1.1.2 电路中短路和断路有什么区别?

1.2 电压和电流的参考方向

电路分析中, 基本的物理量是电流、电压及功率, 这些基本概念在物理学中已介绍过。在介绍电路的分析方法之前, 需要知道电压和电流的实际方向, 例如欧姆定律的应用。电路简单时, 根据电源极性较容易判断, 如果电路更复杂一些, 电压和电流的实际方向往往不能预先确定, 那么如何进一步分析电路? 为此, 引入参考方向 (reference direction) 的概念。

一、电流的参考方向

电路中正电荷运动的方向为电流的实际方向, 在较复杂的直流电路中, 电流的实际方向往往不能预先确定。可任意选定某一方向为电流的参考方向, 用箭头或以 I_{ab} 表示电流方向。所选定的电流参考方向不一定与实际方向一致, 如果电流的实际方向与参考方向一致, 电流为正值 ($I > 0$); 如果两者方向不一致, 电流为负值 ($I < 0$)。

在分析电路时, 任意假定电流的参考方向后, 以此方向去进行分析计算, 从求得答案的正、负值来确定电流的实际方向。显然, 在未假定参考方向的情况下, 电流的正负是无任何实际意义的。对直流电路, 电路结构和参数一旦确定, 电流的实际方向就确定, 不受参考方向的影响。

例如, 如图 1—6 所示, 若 $I = 5 \text{ A}$, 则电流实际方向从 a 流向 b; 若 $I = -5 \text{ A}$, 则电流实际方向从 b 流向 a。



图 1—6 电流的参考方向与实际方向

电流的单位为安培 (A), 计量微小电流时以毫安 ($1 \text{ mA} = 10^{-3} \text{ A}$)、微安 ($1 \mu\text{A} = 10^{-6} \text{ A}$) 为单位。以后的电路中, 所标注电流方向一般都是参考方向, 不一定是电流的

实际方向。具体使用中要结合电流的参考方向和计算所得数值，才能判断某一支路上电流的大小和方向。

二、电压和电动势的参考方向

电压和电动势都有方向，高电位指向低电位为电压的实际方向，即电压降的方向。而电动势的实际方向规定为由负极经电源内部指向正极，电路分析中电动势往往为已知，故在电路中标为实际方向。

电压的参考方向，在元件的两端用“+”表示高电位端，用“-”表示低电位端。或用双下标，如 U_{ab} 表示 a、b 间的电压。电路中元件电压参考方向也可以任意选定，如果电压的实际方向与参考方向一致，电压为正值（ $U>0$ ）；如果两者方向不一致，电压为负值（ $U<0$ ）。电路中元件电压参考方向选定后，只要把计算所得电压的正值或负值与电路图中的参考方向比较，就能确定元件电压的实际方向。

例如，如图 1—7 所示的电阻元件，若 $U=5\text{ V}$ ，则电压的实际方向由 a 指向 b；若 $U=-5\text{ V}$ ，则电压的实际方向由 b 指向 a。



图 1—7 电压的参考方向与实际方向

电压、电动势的单位为伏特（V）、毫伏（ $1\text{ mV}=10^{-3}\text{ V}$ ）、微伏（ $1\text{ }\mu\text{V}=10^{-6}\text{ V}$ ）、千伏（ $1\text{ kV}=10^3\text{ V}$ ）。

在分析电路时，假设元件的电流和电压参考方向，这两者可相互独立地设定。但是有时需要同时考虑电压、电流的参考方向，例如欧姆定律应用时，对负载而言，若按图 1—8（a）所示的电路中电压与电流参考方向一致；若按图 1—8（b）所示的电路中电压与电流参考方向不一致。



图 1—8 负载的参考方向

对电源而言，若按图 1—9（a）所示的电路中电压与电流参考方向一致；若按图 1—9（b）所示的电路中电压与电流参考方向不一致。



图 1—9 电源的参考方向

许多公式和定律、定理都是在规定的参考方向下得到的，当参考方向改变时，这些公式和定律、定理应作相应变化。例如欧姆定律，当电压和电流参考方向一致时， $U=IR$ ；当电压和电流参考方向不一致时， $U=-IR$ 。

【例 1—2】 应用欧姆定律求图 1—10 所示电路中的电阻 R 。

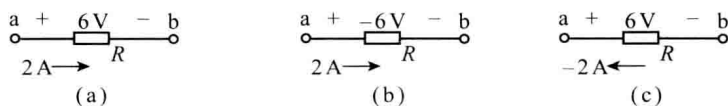


图 1—10 例 1—2 的图

解 对图 1—10 (a)， $U=IR$ ， $R=\frac{U}{I}=\frac{6}{2}\Omega=3\Omega$

对图 1—10 (b)， $U=-IR$ ， $R=-\frac{U}{I}=-\frac{-6}{2}\Omega=3\Omega$

对图 1—10 (c)， $U=-IR$ ， $R=-\frac{U}{I}=-\frac{6}{-2}\Omega=3\Omega$

三、电路元件的功率

电路中某一部分所吸收或产生能量的速率称为功率 (power)，功率用 p 或 P 表示。功率的单位有瓦特 (W)、毫瓦 ($1\text{ mW}=10^{-3}\text{ W}$) 和千瓦 ($1\text{ kW}=10^3\text{ W}$) 等。电路中某元件的功率为 $P=UI$ ，式中 U 为电路元件的端电压， I 为电路元件的电流。

在分析电路时，一般先分析电路的电压、电流关系，得到结果后，电路的电压、电流实际方向已知，很容易确定电路元件是电源还是负载。如果电路中电压、电流实际方向未知，可以按参考方向来计算元件的功率。若电压和电流参考方向一致，则 $P=UI$ ；若电压和电流参考方向不一致，则 $P=-UI$ 。如图 1—11 所示。



图 1—11 功率的计算

如果计算的功率为正，表示该元件消耗功率 (负载)，例如电阻元件；如果计算的功率为负，表示该元件输出功率 (电源)，例如电源元件。

【例 1—3】 在图 1—12 中，若电流均为 -2 A ，且均由 a 流向 b ，求电路元件吸收或产生的功率，并判断电路元件是电源还是负载。



图 1—12 例 1—3 的图

解 因为 $I = -2\text{ A}$ ，对图 1—12 (a) 所示元件，电压与电流参考方向一致，则

$$P = UI = 3 \times (-2)\text{ W} = -6\text{ W}$$

对图 1—12 (b) 所示元件，电压与电流参考方向不一致，则

$$P = -UI = -3 \times (-2)\text{ W} = 6\text{ W}$$

所以，图 1—12 (a) 的元件产生功率，应为电源；图 1—12 (b) 的元件吸收功率，应为负载。

练习与思考

1.2.1 为何要引入参考方向的概念？分析电路时如何应用参考方向？

1.2.2 在图 1—13 中，方框代表电源或负载。已知 $U = 110\text{ V}$ ， $I = -2\text{ A}$ ，判断哪些方框是电源？哪些是负载？

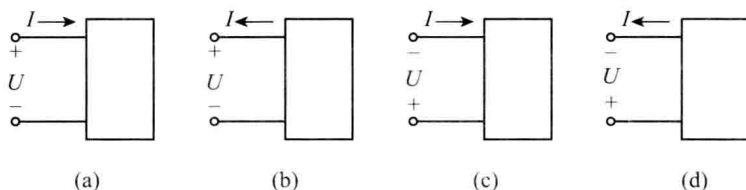


图 1—13 练习与思考 1.2.2 的图

1.3 电路模型及电路元件

实际电路中使用的各种电器元件包含的电磁特性 (electromagnetic property) 比较复杂，完全考虑它们是相当困难的。例如，实际电路中的电阻有电流流过时，不仅具有对电流的阻碍作用，在其周围还会产生磁场，兼有电感的性质；实际电容除了具有储存电场能量的作用，还有部分的电能损耗及磁现象，即具有电阻和电感的性质。

为了便于对实际的电路进行分析和数学描述，常用理想化概念来近似表示各种实际器件的主要电磁性能，忽略其次要的电磁特性。对实际电路元件的抽象化、理想化，即为电路模型 (circuit model)。上述电阻主要呈现对电流的阻碍作用，表示消耗能量的器件，用理想电阻元件来描述。电容在电路中主要呈现存贮电场能量的作用，可用理想电容元件代替电容，用理想电感元件代替电感线圈等等。

一、电阻元件

理想电阻 (resistance) 元件具有消耗能量的电磁特性，例如白炽灯、电阻加热炉、各种电阻器均以电阻作为电路模型。

欧姆定律 (Ohm's law) 确定了电阻元件中电流与其端电压的关系。按前面的分析，当电压与电流的参考方向一致时， $U = IR$ ；当电压与电流的参考方向不一致时， $U = -IR$ 。

图 1—14 (b)、(c) 为电阻元件的伏安特性 (volt-ampere characteristics), 电阻可分为线性电阻和非线性电阻。显然, 线性电阻的伏安特性是一条经过坐标原点的直线, 电阻值可由直线的斜率来确定。而非线性电阻的电阻值不是常数。当电流 I 流过电阻 R 时, U 是电阻 R 两端的电压, 电阻元件的功率为

$$P = UI = I^2 R = \frac{U^2}{R} \quad (1-3)$$

电阻将消耗能量, 所以电阻具有耗能的性质。

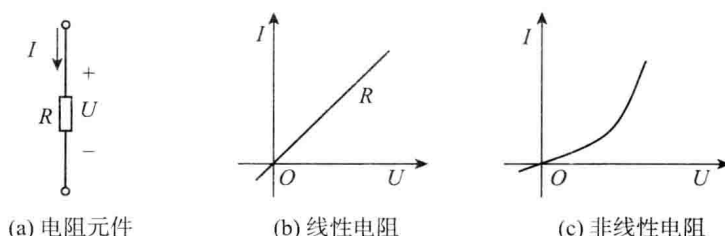


图 1—14 电阻元件的伏安特性

电阻、电容和电感因不产生能量通常称为无源电路元件, 电容和电感将在第 2 章里介绍。

二、理想有源元件

电路中能提供能量或产生能量的设备就是电源, 从实际的电源抽象出两种模型, 即电压源模型和电流源模型。与电阻、电容、电感等无源元件不同, 电压源、电流源是有源器件。

1. 电压源

能够独立产生稳定电压的电路元件称为理想电压源 (ideal voltage source), 如电池、发电机等。理想电压源有如下性质: (1) 其端电压是恒定值 $U = U_s$, 与流过的电流无关。(2) 电压源的电压由其本身确定, 其电流是由与之相接的外电路决定的。(3) 与理想电压源并联的元件不会影响其输出电压, 对外电路分析时可以将该元件断路 (图 1—15)。

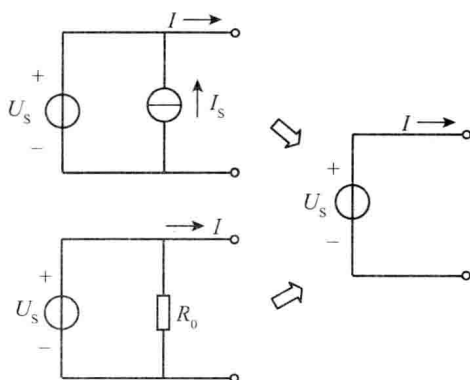


图 1—15 电压源及伏安特性

建立实际电源模型必须考虑供电时电源内阻的能耗, 因而实际电压源模型可以用理想