



普通高等教育“十三五”规划教材
电子电气基础课程规划教材

电工技术 (电工学1)

■ 苗松池 主编 ■ 李艳红 张坤艳 副主编



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

普通高等教育“十三五”规划教材
电子电气基础课程规划教材

电 工 技 术

(电 工 学 1)

苗松池 主 编

李艳红 张坤艳 副主编

电子工业出版社
Publishing House of Electronics Industry
北京·BEIJING

内 容 简 介

本书是依据教育部电工电子基础课程教学指导委员会制定的电工学课程教学基本要求,为深化教学改革而编写的。

从培养应用型人才的目的出发,在保证必需的理论基础和计算能力的前提下,书中尽量减少复杂的理论推导和计算,着重突出实践和应用能力培养的内容。书中增加了课外实践环节,增加了虚拟仿真实验的内容,通过课外实践和虚拟仿真,使电工学教学从理论教学为主转变为理论与实践密切结合的教学方式。本书第9章专门介绍了仿真软件 Multisim 的应用。此外,本书配有丰富的 PPT、MOOC 等教学资源。

本书的内容包括电路理论、电动机及控制、安全用电、仿真软件 Multisim 的应用等知识。本书与《电子技术(电工学2)》配套,可作为大学本科非电类专业多学时电工学课程的教材,也可作为相关专业人员的培训教材及参考书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

电工技术. 电工学. 1 / 苗松池主编. —北京: 电子工业出版社, 2018.5

ISBN 978-7-121-34098-7

I. ①电… II. ①苗… III. ①电工技术—高等学校—教材②电工—高等学校—教材 IV. ①TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 081236 号

策划编辑: 张小乐

责任编辑: 张小乐

印 刷: 三河市鑫金马印装有限公司

装 订: 三河市鑫金马印装有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编: 100036

开 本: 787×1092 1/16 印张: 14.5 字数: 371 千字

版 次: 2018 年 5 月第 1 版

印 次: 2018 年 10 月第 2 次印刷

定 价: 42.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010) 88254888, 88258888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

本书咨询联系方式:(010) 88254462, zhxl@phei.com.cn。

前 言

本书是根据教育部高等学校电工电子基础课程教学指导委员会制定的电工学课程教学基本要求,结合实际的教学经验,为满足深化教学改革的需求而编写的。

电工学是本科非电类专业的一门重要的技术基础课程,它涵盖了电气工程与电子信息工程两大学科的最基本内容。通过本课程的学习,使学生掌握相关学科的基本知识,建立相应的工程意识,培养学生分析和解决相关技术问题的能力,为进一步学习相关专业知识和工程应用打下基础。

本套教材包括《电工技术(电工学1)》、《电子技术(电工学2)》两本书,适合于多学时电工学教学使用,总学时为90~120学时,其中理论课为80~90学时,实验课为30~40学时。《电工技术(电工学1)》的内容包括电路理论、电动机及控制、安全用电、EDA技术等知识,《电子技术(电工学2)》的内容包括模拟电子技术、数字电子技术等知识。书中标有“*”的章节为选学内容。

随着科学技术的发展和教学改革的深入,电工学教学面临许多问题,其中最突出的问题是学时数的减少与新知识大量增加的矛盾;学分制与学生选课制的推广、MOOC等网络课程的建设及其对现有教学秩序的影响;普通高校的本科教学已经从培养研究型人才为主变为培养应用型人才为主,等等。要解决这些问题,就需要对教学内容进行改革,而教材建设就是这些改革过程中的第一步。

本书在编写过程中,力求解决以下几个问题:

(1) 教材内容与无纸化考试相结合。

学分制、学生选课制、MOOC等网络课程的建设 and 推广,最终必然要求有相应配套的考试制度,目前的考试方式无法满足相应的要求,而无纸化考试能在一定程度上满足要求。采用无纸化考试,学生可以在任何时间、任何地点通过网络参加考试。只有将无纸化考试系统建立起来,学分制、学生选课制、MOOC等网络课程的建设才能得到更有效的推广。

作者在建设无纸化考试题库时,深感题库的建设必须与相应的教材相配套。在编写教材时,力争在有限的例题与习题中包含各章节的主要考点,然后以这些例题与习题为基础,建设相应的无纸化试题库。

(2) 减少理论推导,加强应用能力培养。

在保证必备的理论基础和计算能力的前提下,教材中尽量减少了复杂的理论推导和计算,加强了学生应用能力的培养。

本书各章中都有课外实践课的内容,在课外实践课中介绍了电子元器件的识别、焊接方法、电子产品的安装调试方法,介绍了变压器、电动机、电气自动控制电路、基本放大电路、集成运算放大器、直流稳压电源、常用数字芯片的应用实例,还提供了多个电子制作和电子电路设计的实例。通过课外实践的内容,力求使学生的动手操作能力得到全面提高。

(3) 加强 EDA 仿真软件 Multisim 的应用。

对 EDA 仿真软件 Multisim 的学习,让学生可以灵活便捷地使用 Multisim 做虚拟实验或

课程设计,既提高了教学效果,又能解决实验室资源不足的问题。大力开发虚拟实验项目,有助于全面提高学生的学习与创新能力。《教育部办公厅关于2017—2020年开展示范性虚拟仿真实验教学项目建设的通知》(教高厅[2017]4号)指出,到2020年要在全建设1000项示范性虚拟仿真实验教学项目。本套教材符合该通知的精神,第9章专门介绍了仿真软件Multisim的使用,作者新开发了大量电工学虚拟仿真实验,作为教材的内容。

本书通过增加课外实践环节和Multisim仿真实验项目,将改变过去对电工学只是理论课的传统认识,恢复电工学既是理论课又是实践课的本来面目。

(4) 尽量吸收和引进新的教学改革成果,改善电工学教学。

近十几年来,各高校编写并出版了大量的电工学教材,反映出了诸多值得学习借鉴的教学研究成果。本书尽量吸收和引进这些先进的教学改革成果,以提高电工学教学水平。

作者将根据本书的内容编写无纸化考试试题库。同时将提供与教材配套的PPT教学课件等相关的数字化教学资源,各位教师可登录“华信教育资源网”获取。

本书由苗松池任主编,李艳红、张坤艳任副主编,徐红东、隋首钢、曲怀敬、吴延荣、张涛、王桂娟、张美生等老师参加了部分章节的编写和校对。

由于编者水平有限,书中错误和不妥之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

编 者

目 录

第1章 电路的基本概念与基本定律	1
1.1 电路及电路模型	1
1.1.1 电路的作用及组成	1
1.1.2 电路模型	1
1.2 电路中的基本物理量	2
1.2.1 电流	2
1.2.2 电压	3
1.2.3 电功率	4
1.2.4 电能	4
1.3 电路的状态	5
1.3.1 通路	5
1.3.2 开路	6
1.3.3 短路	6
1.4 基本电路元件	7
1.4.1 电阻元件	7
1.4.2 电感元件	8
1.4.3 电容元件	9
1.4.4 理想电压源	10
1.4.5 理想电流源	11
1.5 基尔霍夫定律	12
1.5.1 基尔霍夫电流定律 (KCL)	12
1.5.2 基尔霍夫电压定律 (KVL)	13
1.6 电路中电位的概念及计算	14
1.7 Multisim14 仿真实验 基尔霍夫定律的验证	16
1.8 课外实践 常用电子元器件的识别	19
1.8.1 电阻器	19
1.8.2 电容器	21
1.8.3 电感器	24
小结	25
习题	25
第2章 电路的基本分析方法	29
2.1 实际电源的两种模型及其等效变换	29
2.1.1 电压源模型	29
2.1.2 电流源模型	29
2.1.3 电压源与电流源的等效变换	30

2.2	支路电流法	32
2.3	结点电压法	34
2.4	叠加定理	36
2.5	等效电源定理	38
2.5.1	戴维南定理	38
2.5.2	诺顿定理	41
2.6	Multisim14 仿真实验 叠加定理的验证	42
2.7	课外实践 焊接技术	45
	小结	46
	习题	47
第3章	电路的暂态分析	50
3.1	换路定则与电路初始值的确定	50
3.1.1	换路定则	51
3.1.2	初始值的确定	51
3.2	一阶 RC 电路的暂态分析	53
3.2.1	一阶 RC 电路的全响应	53
3.2.2	一阶 RC 电路的零状态响应	55
3.2.3	RC 电路的零输入响应	57
3.3	一阶 RL 电路的暂态分析	58
3.3.1	一阶 RL 电路的全响应	58
3.3.2	一阶 RL 电路的零状态响应	59
3.3.3	RL 电路的零输入响应	60
3.4	一阶电路的三要素法	61
3.5	RC 微分电路和积分电路	63
3.6	Multisim14 仿真实验 RC 电路的暂态过程	65
3.7	课外实践 电子产品的安装、调试与检修	67
	小结	68
	习题	69
第4章	正弦交流电路	72
4.1	正弦交流电的相量表示法	72
4.1.1	正弦交流电的基本概念	72
4.1.2	复数	74
4.1.3	正弦量的相量表示法	74
4.2	单一参数的交流电路	76
4.2.1	电阻元件	76
4.2.2	电感元件	77
4.2.3	电容元件	79
4.3	正弦交流电路的计算	81
4.3.1	阻抗	81

4.3.2	阻抗的串联	82
4.3.3	阻抗的并联	84
4.3.4	复杂交流电路的计算	85
4.4	正弦交流电路中的功率	86
4.4.1	瞬时功率	86
4.4.2	有功功率	87
4.4.3	无功功率	87
4.4.4	视在功率与功率因数	88
4.5	功率因数的提高	90
4.5.1	提高功率因数的意义	91
4.5.2	提高功率因数的方法	91
4.6	交流电路的谐振	93
4.6.1	串联谐振	93
4.6.2	并联谐振	95
4.7	Multisim14 仿真实验 日光灯电路及功率因数的提高	96
4.8	课外实践 电子小制作(声控小夜灯)	99
	小结	100
	习题	101
第5章	三相电路	104
5.1	三相电源	104
5.2	三相负载的星形连接	107
5.3	三相负载的三角形连接	110
5.4	三相功率	112
5.5	安全用电	114
5.5.1	安全用电常识	114
5.5.2	防止触电的安全技术	115
5.6	Multisim14 仿真实验 三相电路	118
5.7	课外实践 电子小制作(叮咚门铃)	121
	小结	122
	习题	122
第6章	磁路与变压器	125
6.1	磁路的基本知识	125
6.1.1	磁场的基本物理量	125
6.1.2	磁性材料的磁性能	126
6.1.3	磁路的欧姆定律	128
6.2	铁心线圈电路	129
6.2.1	直流铁心线圈电路	129
6.2.2	交流铁心线圈	129
6.3	变压器	132

6.3.1	变压器的基本结构	132
6.3.2	变压器的工作原理	132
6.3.3	变压器的主要技术指标	135
6.3.4	变压器绕组的极性	137
6.3.5	特殊变压器	137
6.4	三相变压器*	139
6.5	电磁铁*	140
6.6	Multisim14 仿真实验 变压器的外特性测试	141
6.7	课外实践 变压器的应用举例	143
	小结	144
	习题	145
第 7 章	电动机	147
7.1	三相异步电动机的基本结构	147
7.2	三相异步电动机的转动原理	149
7.3	三相异步电动机的电路分析	153
7.3.1	定子电路	153
7.3.2	转子电路	153
7.4	三相异步电动机的电磁转矩与机械特性	154
7.4.1	三相异步电动机的电磁转矩	154
7.4.2	三相异步电动机的机械特性	155
7.5	三相异步电动机的启动、调速和制动	158
7.5.1	三相异步电动机的启动	158
7.5.2	三相异步电动机的调速	161
7.5.3	三相异步电动机的制动	162
7.6	三相异步电动机的铭牌数据	164
7.7	单相异步电动机*	166
7.8	Multisim14 仿真实验 手动控制的三相异步电动机正反转电路	168
7.9	课外实践 电动机的应用实例	169
	小结	171
	习题	172
第 8 章	电气自动控制	174
8.1	常用低压控制电器	174
8.2	三相异步电动机的启停控制电路	180
8.3	三相异步电动机的正反转控制电路	183
8.4	行程控制	185
8.5	顺序控制	186
8.6	时间控制	187
8.7	可编程序控制器	189
8.7.1	PLC 的基本结构和工作原理	189

8.7.2 PLC 的编程语言	191
8.8 Multisim14 仿真实验 三相异步电动机的启停控制电路	194
8.9 课外实践 电气自动控制电路的应用实例	197
小结	198
习题	198
第9章 仿真软件 Multisim14 的使用	201
9.1 Multisim14 的安装与设置	201
9.1.1 Multisim14 的安装	201
9.1.2 Mutisim14 的工作界面	202
9.1.3 Multisim14 工作环境的设置	203
9.2 Multisim14 的仿真步骤	205
9.3 Multisim14 中常用电子仪器的使用	209
小结	212
习题答案	214
参考文献	219

第1章 电路的基本概念与基本定律

本章介绍电路的基本概念与基本定律，包括电路模型、电路中的基本物理量、电路的工作状态、基本电路元件、电压与电流的参考方向、基尔霍夫定律、电位的概念等。这些概念和定律是电路分析的基础，必须很好地理解和掌握，以便为后续课程的学习打下基础。

1.1 电路及电路模型

1.1.1 电路的作用及组成

电路就是电流的通路，是为实现某种功能而建立的。电路的作用大致可分为两类：一类是实现能量的传输与转换，电力系统就是其典型电路，如图 1-1 所示；另一类是实现信号的传递与处理，音频放大电路就是其典型电路，如图 1-2 所示。电路通常由电源（或信号源）、负载、中间环节三部分组成。

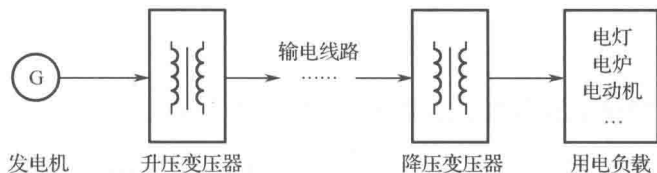


图 1-1 电力系统

在电力系统中，发电机是电源，将机械能转换为电能；电灯、电炉、电动机等电气设备是负载，负载是消耗电能的设备，将电能转换为光能、热能、机械能等；变压器和输电线路是电路中的中间环节。

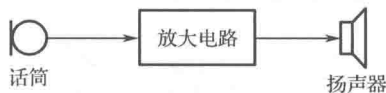


图 1-2 音频放大电路

在音频放大电路中，话筒是信号源，将声音信号转换成微弱的电信号；扬声器是负载，将电信号转换成声音信号；放大电路是中间环节，将话筒输出的微弱电信号放大，去推动扬声器发声。

通常把规模较大或结构较复杂的电路称为网络或系统，把实现部分功能的电路称为子系统，一个系统可由多个子系统构成。

电源或信号源也称为电路中的激励，它们推动电路工作；由激励在电路中产生的电压或电流称为响应。电路分析就是讨论电路中激励与响应之间的关系。

1.1.2 电路模型

组成实际电路的元器件往往具有多种电磁性质。一个线圈不仅具有储存磁场能量的特性，

即电感特性，也有消耗电能的电阻特性，线圈的匝间还存在分布电容，即具有电容特性。此外，线圈有体积、线径等特性，所以要对实际元器件进行精确的分析是很困难的。

在对实际电路进行分析时，首先要将电路中的元器件用理想化的电路元件来代替，并建立电路的数学模型（简称为电路模型或电路）。理想电路元件就是具有单一电磁特性的元件，理想化的电阻元件只具有消耗电能的特性，理想电感元件只具有储存磁场能量的特性，理想电容元件只具有储存电场能量的特性，理想电源元件只具有产生电能的特性，等等。此外，理想电路元件具有集中（或集总）参数的特性，不用考虑元件的尺寸大小。

在直流电路和低频电路中，线圈通常用一个电感元件和一个电阻元件的串联电路来等效，如图 1-3（a）所示。在高频电路中，线圈匝间的分布电容不能忽略，线圈要用如图 1-3（b）所示的电路来等效。同一个实际的电路元器件，在不同的条件下，具有多个不同的电路模型。在建立电路模型时，要根据电路的工作条件，保留元器件的主要电磁特性，忽略次要因素，在满足精确度要求的前提下，尽量选用简化的电路模型，以便于电路的分析。

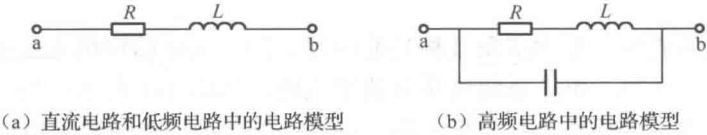


图 1-3 线圈的电路模型

练习与思考

电力系统和电子线路中的电路各由哪几部分组成？分别起什么作用？

1.2 电路中的基本物理量

1.2.1 电流

电荷在电场力的作用下做有规则的运动，单位时间内通过导体横截面的电荷量称为电流，用公式表示为

$$i = \frac{dq}{dt} \tag{1-1}$$

式中，电荷量 q 的单位是 C（库仑），时间的单位是 s（秒），电流的单位是 A（安培）。

国家标准规定，不随时间变化的物理量用大写字母表示，随时间变化的物理量用小写字母表示。在直流电路中，电荷量 Q 和电流 I 不随时间变化，都用大写字母表示，式（1-1）可写为

$$I = \frac{Q}{t} \tag{1-2}$$

通常，公式中的物理量用小写字母来表示，用于表示变化的量或一般情况。将公式应用到直流电路中时，只需把相应物理量换成大写字母即可。

电流除使用基本单位 A 以外，还经常使用辅助单位，如 mA（微安）、 μ A（毫安）等。辅助单位是在基本单位的前面加相应的词头构成的，这些词头的含义如表 1-1 所示。

表 1-1 部分国际单位制词头

词 头	G	M	k	m	μ	n	p
中文名称	吉	兆	千	毫	微	纳	皮
含 义	10^9	10^6	10^3	10^{-3}	10^{-6}	10^{-9}	10^{-12}

规定正电荷运动的方向为电流的实际方向，但是对实际电路进行分析时，很多时候并不能预先知道电流的实际方向，尤其在交流电路中，电流的方向随时间变化。这时，可先设定任意一个方向，作为电流的参考方向（或正方向），简称电流的方向。电流的方向在电路图中用实线箭头来表示，如图 1-4 所示。图中的方框表示一个二端元件（可以是电阻、电感、电容、电源等），虚线箭头表示电流的实际方向。电流的方向除用箭头表示外，还可用双下标表示，如 i_{ab} 表示电流的方向为由 a 到 b，显然 $i_{ab} = -i_{ba}$ 。

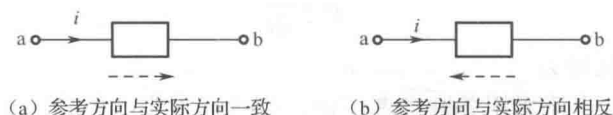


图 1-4 电流的参考方向与实际方向

在图 1-4 (a) 中，电路的参考方向与实际方向一致， $i > 0$ ，电流为正值；在图 1-4 (b) 中，电路的参考方向与实际方向相反， $i < 0$ ，电流为负值。所以，只有选定了参考方向以后，电流才有正、负之分。本书电路图中标出的电流方向均为参考方向，不再单独说明。

1.2.2 电压

电路中 a、b 两点之间的电压，也称为 a、b 两点之间的电位差，在数值上等于电场力把单位正电荷从 a 点移动到 b 点所做的功，用公式表示为

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

式中， V_a 为 a 点的电位， V_b 为 b 点的电位， w 表示移动电荷所做的功，其单位是 J（焦耳），电压和电位的单位是 V（伏特）。

电压的实际方向是从高电位指向低电位，即电位降的方向，故电压又称为电压降。若无法预先知道电压的实际方向，在电路分析时要先假设一个方向作为电压的参考方向，简称电压的方向。当电压的参考方向与实际方向一致时，电压数值为正，反之为负。

在电路中，用符号“+”和“-”表示电压的极性，“+”端为高电位端，“-”端为低电位端，电压的方向是从“+”端指向“-”端。电压的方向也可用实线箭头或双下标表示，如图 1-5 所示。 u_{ab} 表示 a 端为正极性端，b 端为负极性端， u_{ba} 则相反，并且 $u_{ab} = -u_{ba}$ 。

若某个元件上电流的方向是从高电位端流向低电位端，则称该元件上电压与电流取关联参考方向，如图 1-6 (a) 所示；反之，则称为非关联参考方向，如图 1-6 (b) 所示。在采用关联参考方向时，不必全部标出该元件上电流和电压的参考方向，通常只标出电流的参考方向即可。若不采用关联参考方向，则电压与电流的参考方向必须全部标出。为简化电路分析，应尽量采用关联参考方向。

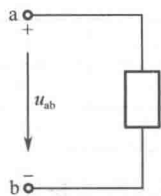


图 1-5 电压的表示方法

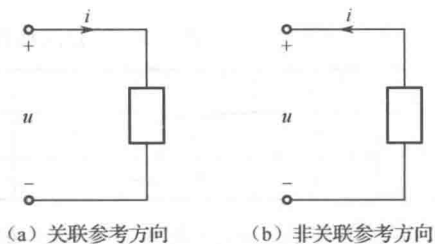


图 1-6 电压与电流参考方向的关联

1.2.3 电功率

单位时间内转换的电能为元件的电功率，简称功率，用公式表示为

$$p = \frac{dw}{dt} \quad (1-4)$$

功率 p 的单位为 W（瓦特）。

若元件上的电压和电流采用关联参考方向，则该元件吸收的功率为

$$p = ui \quad (1-5)$$

若元件上的电压和电流采用非关联参考方向，则该元件吸收的功率为

$$p = -ui \quad (1-6)$$

在式 (1-5) 和式 (1-6) 中，若 $p > 0$ ，则表示该元件实际上是吸收功率，起负载作用；若 $p < 0$ ，则表示该元件实际上是发出或产生功率，起电源作用。在一个电路中，所有元件吸收功率的代数和为零，称为功率平衡，用公式表示为

$$\sum p = 0 \quad (1-7)$$

需要注意，在式 (1-5) 和式 (1-6) 所表示的元件吸收功率的公式中有两套符号，即 ui 前面的正、负号和 u 、 i 本身的正、负号。

1.2.4 电能

在时间 t 内转换的电功率称为电能，对于负载元件来说，即在时间 t 内元件吸收或消耗的电能，用公式表示为

$$W = \int_{t_0}^{t_1} u i dt \quad (1-8)$$

在直流电路中，电能的表达式为

$$W = Pt = UIt \quad (1-9)$$

电能 W 的单位是 J（焦耳），在工程上常用 kW·h（千瓦时）作为电能的计量单位，1 千瓦时即 1 度电。千瓦与焦耳的换算关系为 $1\text{kW} = 3.6 \times 10^6 \text{J}$ 。

例 1.2.1 图 1-7 所示的电路由 4 个元件组成，已知 $U_1 = U_2 = 3\text{V}$ ， $U_3 = 4\text{V}$ ， $U_4 = 7\text{V}$ ， $I_1 = -1\text{A}$ ， $I_2 = 3\text{A}$ ， $I_3 = -2\text{A}$ 。（1）求各元件的功率，并指出哪些是电源，哪些是负载；（2）验证电路中功率平衡。

解：（1）元件 1 为关联参考方向， $P_1 = U_1 I_1 = 3 \times (-1) = -3\text{W}$ ，

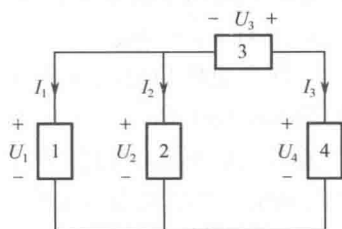


图 1-7 例 1.2.1 电路图

元件 1 为电源。

元件 2 为关联参考方向, $P_2 = U_2 I_2 = 3 \times 3 = 9\text{W}$, 元件 2 为负载。

元件 3 为非关联参考方向, $P_3 = -U_3 I_3 = -4 \times (-2) = 8\text{W}$, 元件 3 为负载。

元件 4 为关联参考方向, $P_4 = U_4 I_3 = 7 \times (-2) = -14\text{W}$, 元件 2 为电源。

(2) 功率平衡关系

$$P_1 + P_2 + P_3 + P_4 = -3 + 9 + 8 - 14 = 0\text{W}$$

练习与思考

1.2.1 电路如图 1-8 所示, 流过电阻的电流 I 是多少?

1.2.2 某一电路元件接于 a、b 两点之间, 已知 $U_{ab} = -12\text{V}$, a、b 两点哪点的电位高。

1.2.3 电路如图 1-9 所示, 已知 $U = 6\text{V}$, $I = -2\text{A}$, 求各个元件的功率, 并判断哪些元件是电源, 哪些元件是负载。

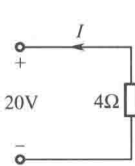
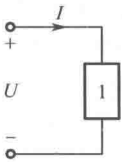
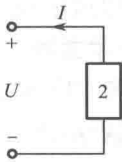


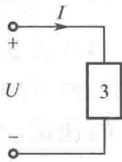
图 1-8 练习与思考 1.2.1 的图



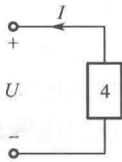
(a)



(b)



(c)



(d)

图 1-9 练习与思考 1.2.3 的图

1.3 电路的状态

通常, 电路有三种工作状态, 即通路、开路和短路, 下面分别对其说明。

1.3.1 通路

当电源与负载接通, 电路中有电流通过时, 电路的这一状态称为通路。在图 1-10 中, 当开关 S 闭合时, 电路就处于通路状态。

通路时, 电源向负载输出功率, 电源处于有载工作状态。电源产生的功率应等于负载电阻 R_L 和电源内电阻 R_0 上消耗的功率之和, 电路中的功率是平衡的, 用公式表示为

$$U_S I = R_0 I^2 + UI \tag{1-10}$$

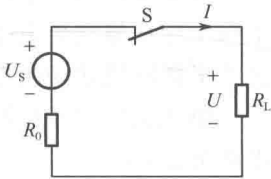


图 1-10 通路

通常, 导线的电阻很小, 导线上产生的电压降和功率损耗可忽略不计。当电路中的电流较大或线路很长时, 导线上的电压降和功率损耗就不能忽略。

各种电气设备在出厂时, 都标注有额定值 (也称为铭牌数据)。额定值表示该电气设备可长时间工作的条件或极限工作条件。当电气设备的实际工作条件等于其额定值时, 称该电气设备处于额定工作状态 (或额定状态)。

例如, 某个日光灯标注 220V/40W, 表示它可在 220V 电源电压下长期工作, 消耗功率是 40W。若电源电压偏离其额定值 220V 较大, 该日光灯则不能正常工作, 或因电压过高而损坏, 或因电压过低而不能启动。

某台直流稳压电源标注 12V/5A，表示其输出直流电压为 12V，最大输出电流为 5A。

1.3.2 开路

当某一部分电路断开时，称该部分电路处于开路状态。开路处电流为零，开路处的电压应视电路的情况而定。

在图 1-11 中，若开关 S2 断开，则由 S2 和 R_2 构成的支路开路。若开关 S1 断开，则称为电源开路。电源开路时，其输出电流为零，输出电压称为开路电压，开路电压 U_{OC} 等于 U_S ，用公式表示为

$$U_{OC} = U_S \quad (1-11)$$

1.3.3 短路

当某一部分电路的电阻值为零时，则称该部分电路处于短路状态（也称为短接）。发生短路时，短路处电压为零，短路处的电流应视电路的情况而定。

在图 1-12 中，当开关 S1 或 S2 单独闭合时，称为局部短路；当开关 S1、S2 都闭合时，则称为电源短路。电源短路时，其输出电压为零，输出电流称为短路电流 I_{SC} ，短路电流的大小仅由电源内电阻 R_0 决定，用公式表示为

$$I_{SC} = \frac{U_S}{R_0} \quad (1-12)$$

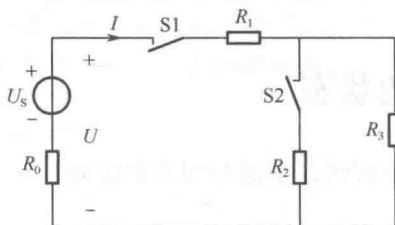


图 1-11 开路

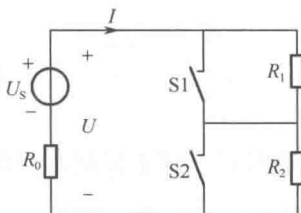


图 1-12 短路

电源短路时，电路中的电流很大，使电源和导线过热，容易烧坏电源或引起火灾。因此，工作中应尽量避免发生这种事故，并且在电路中要接入熔断器等短路保护装置，以便在出现这类事故时迅速切断电源。

例 1.3.1 某电源的开路电压 $U_{OC} = 18V$ ，短路电流 $I_{SC} = 6A$ ，试求该电源的内电阻 R_0 和电源电压 U_S 。

解：电源电压 U_S 等于其开路电压 U_{OC}

$$U_S = U_{OC} = 18V$$

由式 (1-12) 可求出电源的内电阻 R_0

$$R_0 = \frac{U_S}{I_{SC}} = \frac{18}{6} \Omega = 3\Omega$$

练习与思考

1.3.1 额定电压为 220V、额定功率为 100W 的白炽灯，其电阻是多少？若接到 380V 或 110V 的电源上使用，会出现什么问题？

1.3.2 某发电机的额定电流为 60A，只接了 40A 的照明负载，问其余 20A 的电流流到哪里去了？

1.3.3 电路如图 1-13 所示，试计算开关 S 断开和闭合两种情况下电压 U_{ab} 和 U_{cd} 的大小。

1.3.4 某电源的开路电压 $U_{OC} = 24V$ ，短路电流 $I_{SC} = 12A$ ，若外接 4Ω 的负载电阻，电源的输出电流 I 为多少？

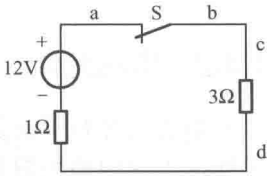


图 1-13 练习与思考
1.3.3 的图

1.4 基本电路元件

电路元件是组成电路的基本单元，按其特性可分为有源元件和无源元件，也可分为线性元件和非线性元件。

无源元件是不需要电源就能工作，或者说不需要电源就能显示其特性的电子元件。无源元件主要是电阻类、电感类和电容类等元件。有源元件是需要加电源才能工作，或者说需要加电源才能显示其特性的电子元件，如各类受控电源、晶体管、集成电路等；通常把独立电源也看作有源元件。

线性元件的外部特性（简称外特性）成线性关系，非线性元件的外部特性不成线性关系。对于不同元件，其外特性不同。对于电阻元件，外特性是指其 $u-i$ 关系。对于电感元件，外特性是指其 $\Psi-i$ 关系。对于电容元件，外特性是指其 $q-u$ 关系。

全部由线性元件组成的电路称为线性电路，含有非线性元件的电路称为非线性电路。

下面将分别讨论各种基本电路元件的电压、电流、功率、能量等特性。

1.4.1 电阻元件

电阻元件是表征电路中消耗电能的元件，电阻元件上的电压和电流一般取关联参考方向，如图 1-14（a）所示。

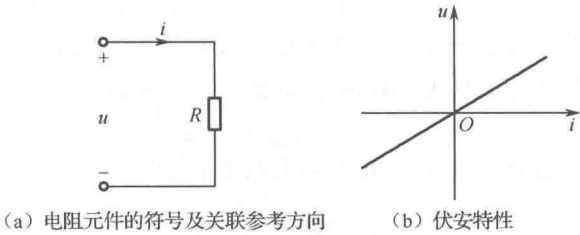


图 1-14 线性电阻元件

电阻元件可分为线性电阻和非线性电阻，线性电阻的阻值是一个常数，因而其电压、电流之间的关系符合欧姆定律，即

$$u = Ri$$

电阻元件的外特性也称为伏安特性（或 $u-i$ 关系），对于线性电阻，其外特性是一条经过原点的直线，如图 1-14（b）所示。非线性电阻的伏安特性不是一条经过原点的直线。

电阻元件消耗的功率为

$$p = ui = Ri^2 = \frac{u^2}{R}$$