



21世纪高职高专规划教材·电子信息系列

# 电工电子技术(上册)

# 电工技术

曹才开 主编

43  
6



电子工业出版社  
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

21 世纪高职高专规划教材·电子信息系列

电工电子技术(上册)

# 电工技术

曹才开 主编

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

## 内 容 简 介

全书共十三章,前五章是电路基本理论,即包括电路分析基础、电路分析基本方法、正弦交流电路、三相交流电路和电路的暂态分析等内容;第6、7章为磁路基本知识和变压器;第8章至第10章分别为交流电动机、直流电动机和控制电机;第11章为电动机的继电接触器控制;第12章为工厂用电常识;第13章为可编程控制器原理及应用。

本书可作为高职高专教育和成人教育非电类专业“电工学”课程教材,也可供相关专业的工程技术人员参考。

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

电工电子技术.上册,电工技术/曹才开编著.一北京:电子工业出版社,2003.4

21世纪高职高专规划教材.电子信息系列

ISBN 7-5053-8594-1

I.电... II.曹... III.①电工技术-高等学校:技术学校-教材②电子技术-高等学校:技术学校-教材  
IV.①TM②TN

中国版本图书馆CIP数据核字(2003)第018820号

责任编辑:朱怀永

印刷者:北京四季青印刷厂

出版发行:电子工业出版社 <http://www.phei.com.cn>

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编100036

经 销:各地新华书店

开 本:787×1092 1/16 印张:15 字数:384千字

版 次:2003年4月第1版 2003年4月第1次印刷

印 数:6000册 定价:20.00元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系。  
联系电话:(010)68279077

# 前 言

本书(上、下册)是根据教育部(前国家教育委员会)1995年颁布的高等工业学校“电工技术(电工学I)”课程的基本要求和电子工业出版社2001年4月在广西桂林召开的“全国高职高专教学研究与教材建设”工作会议精神,由湖南省高校电子技术教学研究会组织部分本、专科学校教师在多年教学研究和教材建设的基础上编写而成的。

本册与熊幸明主编的《电工电子技术》下册“电子技术”部分相配套,作为电工学课程教材。本册内容除标有“\*”号的章节外,适用讲课学时为56学时左右,实验部分为10~16学时。

本书重点讲述基本内容和概念,省略繁杂数学计算。全书通俗易懂,强调工程应用,较好地处理了教学内容继承与更新,先进性与实用性的关系。书中每节后都附有“思考与练习”,每章后都附有小结和习题,书末提供了部分习题答案,便于教学与自学。本书还编入了少量加深、拓宽的内容,对这些内容均标有“\*”号,以便根据各个学校实际情况灵活选用。

参加本册编写的有:傅恩锡(第1章)、程春红(第2章)、曹才开(第3章)、胡新晚(第4章)、刘建亚(第5章)、何新军(第6、7章)、周耀安(第8章)、首珩(第9、10章)、陆秀令(第11章)、罗雪莲(第12、13章)。本册由曹才开担任主编,程春红担任副主编。傅恩锡教授担任本册的主审,并提出了许多宝贵的修改意见,谨致以衷心感谢。在本册的编写过程中,得到了参编学校的大力支持,亦表感谢。

由于编者水平有限,加之时间比较仓促,书中难免有疏漏和不妥之处,敬请各位读者提出宝贵意见。

编 者  
2003年4月

# 目 录

<b>第 1 章 电路分析基础</b> .....	1
1.1 电路和电路模型 .....	1
1.1.1 电路的作用及组成部分 .....	1
1.1.2 电路的工作方式 .....	2
1.1.3 额定值 .....	2
1.1.4 电路元件和电路模型 .....	2
1.2 电流和电压的参考方向 .....	3
1.2.1 电流的参考方向 .....	3
1.2.2 电压的参考方向 .....	4
1.3 电路的功率 .....	5
1.4 电路元件的伏安关系 .....	6
1.4.1 电阻元件 .....	6
1.4.2 电容元件 .....	7
1.4.3 电感元件 .....	8
1.4.4 电源元件 .....	9
1.5 基尔霍夫定律 .....	13
1.5.1 基尔霍夫电流定律 .....	13
1.5.2 基尔霍夫电压定律 .....	14
1.5.3 电路中电位的计算 .....	16
本章小结 .....	17
习题 .....	18
<b>第 2 章 电路分析基本方法</b> .....	21
2.1 支路电流法 .....	21
2.1.1 支路电流法 .....	21
2.1.2 支路电流法的步骤 .....	22
2.2 叠加原理 .....	23
2.2.1 线性电路的叠加性 .....	23
2.2.2 叠加定理在电路分析中的应用 .....	24
2.3 等效电路的概念与戴维南定理 .....	26
2.3.1 无源单口网络的等效电路 .....	26
2.3.2 实际电源的两种等效模型 .....	27
2.3.3 戴维南定理 .....	28
2.4 节点电压法 .....	32
2.4.1 节点电压法 .....	32
2.4.2 节点电压法的分析步骤 .....	33

本章小结 .....	35
习题 .....	35
<b>第 3 章 正弦交流电路 .....</b>	<b>39</b>
3.1 正弦量的三要素 .....	39
3.1.1 正弦量的三要素 .....	39
3.1.2 交流电的有效值 .....	41
3.2 正弦量的相量表示法及相量电路模型 .....	43
3.2.1 复数的复习 .....	43
3.2.2 正弦量的相量表示法 .....	44
3.2.3 电路元件伏安关系的相量形式 .....	45
3.2.4 基尔霍夫定律的相量形式 .....	49
3.2.5 正弦交流电路的相量电路模型 .....	50
3.3 阻抗及简单正弦交流电路的计算 .....	51
3.3.1 RLC 串联电路 .....	51
3.3.2 RLC 并联电路 .....	55
3.3.3 混联电路 .....	56
3.4 正弦交流电路中的功率和功率因数 .....	58
3.4.1 平均功率和功率因数 .....	58
3.4.2 无功功率 .....	59
3.4.3 视在功率和额定容量 .....	59
3.4.4 功率因数的提高 .....	61
3.5 正弦交流电路中的谐振 .....	63
3.5.1 串联谐振 .....	63
3.5.2 并联谐振 .....	65
本章小结 .....	66
习题 .....	68
<b>第 4 章 三相交流电路 .....</b>	<b>71</b>
4.1 对称三相电源 .....	71
4.1.1 对称三相电源的特点 .....	71
4.1.2 三相电源的连接方法 .....	72
4.2 负载为星形连接的三相电路 .....	74
4.2.1 三相四线制电路 .....	74
4.2.2 负载对称电路 .....	75
4.2.3 负载不对称电路及中线的作	77
4.3 负载为三角形连接的三相电路 .....	78
4.4 三相负载中的功率 .....	80
4.4.1 对称负载三相功率的计算 .....	80
4.4.2 不对称负载三相功率的计算 .....	81
本章小结 .....	82
习题 .....	83
<b>第 5 章 电路的暂态分析 .....</b>	<b>85</b>
5.1 电压和电流初始值的计算 .....	85



5.1.1 概述 .....	85
5.1.2 初始值的计算 .....	85
5.2 RC电路的暂态过程与三要素法 .....	88
5.2.1 RC电路的充电过程 .....	88
5.2.2 三要素法 .....	91
5.2.3 RC电路的放电过程 .....	93
5.3 微分电路和积分电路 .....	95
5.3.1 RC微分电路 .....	95
5.3.2 RC积分电路 .....	96
5.4 RL电路的暂态过程 .....	97
5.4.1 RL电路的短接 .....	97
5.4.2 RL电路与直流电源接通 .....	99
本章小结 .....	101
习题 .....	101
<b>第6章 磁路的基本知识</b> .....	<b>105</b>
6.1 磁路的基本概念 .....	105
6.1.1 磁路的基本物理量 .....	105
6.1.2 磁路的组成 .....	106
6.1.3 磁性材料的磁性能 .....	107
6.2 磁路欧姆定律 .....	109
6.3 交流铁心线圈 .....	109
6.3.1 主磁通与主磁电动势 .....	110
6.3.2 铁心线圈的功率损耗 .....	111
本章小结 .....	112
习题 .....	112
<b>第7章 变压器</b> .....	<b>114</b>
7.1 变压器基本结构 .....	114
7.1.1 铁心 .....	114
7.1.2 线圈 .....	115
7.2 变压器的工作原理 .....	115
7.2.1 变压器的电压变换原理 .....	116
7.2.2 变压器的电流变换原理 .....	116
7.2.3 变压器的阻抗变换原理 .....	117
7.3 变压器的运行特性 .....	118
7.3.1 变压器的空载特性 .....	118
7.3.2 变压器的外特性及电压调整率 .....	119
7.3.3 变压器的损耗与效率 .....	119
7.4 变压器的使用 .....	120
7.4.1 变压器的额定值 .....	120
7.4.2 电力变压器的选用常识 .....	120
*7.4.3 变压器绕组的极性 .....	121
7.5 其他变压器 .....	121

7.5.1	三相变压器	121
7.5.2	自耦变压器	122
7.5.3	仪用变压器	122
	本章小结	124
	习题	124
<b>第 8 章</b>	<b>交流电动机</b>	<b>126</b>
8.1	三相异步电动机的基本结构	126
8.1.1	定子	126
8.1.2	转子	127
8.2	三相异步电动机的工作原理	128
8.2.1	旋转磁场	128
8.2.2	工作原理	131
8.3	三相异步电动机的机械特性	133
8.3.1	三相异步电动机的功率	133
8.3.2	电磁转矩	133
8.3.3	机械特性曲线	134
8.4	三相异步电动机的使用	137
8.4.1	三相异步电动机的起动	137
8.4.2	三相异步电动机的反转	141
8.4.3	三相异步电动机的调速	141
8.4.4	三相异步电动机的制动	143
8.4.5	三相异步电动机的铭牌和额定值	144
8.4.6	三相异步电动机的选用常识	147
8.5	单相异步电动机	150
8.5.1	基本结构	150
8.5.2	工作原理	150
	本章小结	152
	习题	153
<b>第 9 章</b>	<b>直流电动机</b>	<b>154</b>
9.1	直流电机的构造	154
9.2	直流电机的基本工作原理	155
9.2.1	直流电动机的工作原理	155
9.2.2	直流电动机的励磁方式	157
9.3	他励电动机的机械特性	157
9.3.1	电枢电路的平衡方程	157
9.3.2	机械特性	158
9.4	他励电动机的使用	159
9.4.1	直流电机的铭牌数据	159
9.4.2	起动	160
9.4.3	反转	161
9.4.4	调速	161
9.4.5	直流电动机的选用常识	163



本章小结 .....	163
习题 .....	164
<b>*第 10 章 控制电机 .....</b>	<b>165</b>
10.1 伺服电动机 .....	165
10.1.1 直流伺服电动机 .....	165
10.1.2 交流伺服电动机 .....	166
10.2 测速发电机 .....	169
10.3 步进电动机 .....	171
10.3.1 单三拍方式 .....	171
10.3.2 六拍方式 .....	172
10.3.3 双三拍方式 .....	172
本章小结 .....	174
习题 .....	174
<b>第 11 章 电动机的继电接触器控制 .....</b>	<b>175</b>
11.1 常用控制电器简介 .....	175
11.1.1 交流接触器 .....	175
11.1.2 继电器 .....	176
11.1.3 自动开关 .....	178
11.1.4 其他常用电器 .....	179
11.2 三相异步电动机的单向启停控制线路 .....	181
11.2.1 点动控制线路 .....	181
11.2.2 单向启停控制线路和自锁 .....	182
11.3 三相异步电动机的正反转控制线路 .....	184
11.4 三相异步电动机的其他常用控制线路 .....	185
11.4.1 行程控制 .....	185
11.4.2 时间控制 .....	187
11.4.3 顺序控制 .....	189
11.4.4 多地点控制 .....	189
11.5 阅读继电接触器控制线路的要点 .....	190
11.5.1 读图要点 .....	190
11.5.2 读图举例 .....	190
本章小结 .....	192
习题 .....	193
<b>第 12 章 工厂用电常识 .....</b>	<b>198</b>
12.1 工厂供配电系统概况 .....	198
12.1.1 发电厂到用户的输电过程 .....	198
12.1.2 工厂供电系统概况 .....	199
12.2 安全用电常识 .....	200
12.2.1 电流对人体的伤害及触电方式 .....	200
12.2.2 电气设备的接地 .....	200
12.2.3 安全用电的注意事项 .....	202

12.3 节约用电常识 .....	202
12.3.1 节约用电的意义 .....	202
12.3.2 节约用电的一般措施 .....	203
本章小结 .....	204
习题 .....	204
<b>*第13章 可编程控制器原理及应用 .....</b>	<b>205</b>
13.1 PLC的概念及工作原理 .....	205
13.1.1 PLC的基本组成 .....	205
13.1.2 PLC的特点 .....	206
13.1.3 PLC的应用 .....	206
13.1.4 PLC的工作原理 .....	207
13.1.5 PLC的编程语言 .....	208
13.2 FX0N系列可编程控制器 .....	209
13.2.1 三菱FX0N系列PLC简介 .....	209
13.2.2 FX0N系列PLC的基本逻辑指令 .....	211
13.2.3 编程规则 .....	215
13.3 PLC应用举例 .....	216
13.3.1 三相异步电动机启、停控制 .....	216
13.3.2 三相异步电动机正、反转控制 .....	216
13.3.3 三相异步电动机Y- $\Delta$ 降压起动控制 .....	217
本章小结 .....	218
习题 .....	218
<b>部分习题答案 .....</b>	<b>220</b>
<b>参考文献 .....</b>	<b>227</b>

# 第 1 章 电路分析基础

本章的中心内容是阐明电路中电压和电流所受到的两类约束。其中一类约束来自电路中元件的本身性质,即元件的伏安关系;另一类约束来自电路中元件的相互连接方式,即基尔霍夫定律。在我们所研究的电路中,其电流、电压无不在这两类约束所支配。此外,本章还着重介绍了电路模型的概念和电流、电压的参考方向的概念等基本概念。

本章介绍的这些基本概念和基本定律,是分析电路的基本依据,将贯穿于全书之中,所以它们是本课程的基础。

## 1.1 电路和电路模型

### 1.1.1 电路的作用及组成部分

实际电路是为实现某种应用目的,由若干电器设备或器件按一定方式用导线连接而成的电流通路。

实际电路的形式多种多样,但就其作用而言,可以划分为两大类。其中一类主要是实现电能的传输和转换。这类电路有时称为电力电路或强电电路。例如图 1.1(a)所示的手电筒电路,是用来照明的一种最简单的电力电路,它由电池、灯泡和按钮通过手电筒壳(导体)连接而成。手电筒电路中,电池是提供电能的器件,这类器件称为电源;灯泡是耗用电能的器件,这类器件称为负载;而按钮和导体介于电源和负载之间,起着传输和控制作用,这类器件称为中间环节。在一般电路中,中间环节还包括保障安全用电的保护电器和测量仪表等。

另一类电路主要是实现信号的传递和处理。这类电路有时称为电子电路或弱电电路。例如图 1.1(b)所示的电路是一种最简单的收音机电路。收音机电路中,天线用以接收无线电波,向电路提供电信号,是收音机电路的信号源;耳机是将电信号转换成声音的器件,属于另一类负载。线圈、电容器、半导体二极管是进行调谐、检波的器件,属于中间环节。

电源、负载和中间环节,是电路的三个基本组成部分。

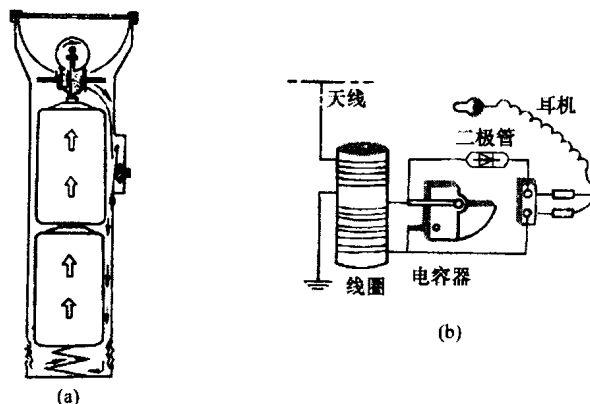


图 1.1 电路的示例

### 1.1.2 电路的工作方式

电路在工作时,对电源来说,通常处于下列3种方式之一:负载、空载和短路。

负载工作方式时,负载与电源接通,负载中有电流通过,该电流称为负载电流,负载电流的大小与负载电阻有关。通常负载都是并联的,它们的两端接在一定的电压下,因此当负载增加时(例如并联的负载数目增加),负载电阻减小,负载电流增大,即功率增大。一般所说的负载的大小,指的是负载电流或功率的大小,而不是指负载电阻的大小。

空载开路时,负载与电源未接通,电路不通,电路中电流为零。这时电源的端电压叫做空载电压或开路电压。

短路是指由于某种原因使电源两端直接接通,这时电源两端的外电阻等于零,电源输出的电流仅由电源内阻限制,此电流称为短路电流。如电源内阻很小,则短路电流将很大,以致烧毁电源、导线等器件。发生短路通常是一种严重事故,为了避免短路的发生,一般在电路中接入熔断器或其他自动保护装置,一旦发生短路,它们能迅速将故障电路自动切断。

### 1.1.3 额定值

为了保证电器设备和器件(包括电线、电缆)可以安全、可靠和经济地工作,每种电器设备、器件在设计时都对其规定了工作时允许的最大电流、最高电压和最大功率等参数值,它们分别用  $I_N$ 、 $U_N$  和  $P_N$  表示。这些数值统称为额定值,分别称为额定电流、额定电压、额定功率等。额定值常标在电器设备和器件的铭牌上或打印在外壳上,故又叫铭牌值。在选用电器设备和器件时,应使其工作时的电流、电压、功率不超过额定值,但一般也不要低于额定值。通过设备的电流过大,将会由于过热而加速设备的绝缘老化,缩短设备寿命,甚至烧毁设备。若加在设备两端的电压过高,一方面会引起电流增大,另一方面还可能使绝缘被击穿。反之,若工作时电流、电压值低于额定值,设备往往不能正常工作,或者不能充分地利用。电器设备在额定情况下工作,叫做额定工作状态。当电器设备电流和功率超过额定值时,叫做“过载”,过载一般是不允许的。

### 1.1.4 电路元件和电路模型

用于构成实际电路的电器设备和器件,统称为实际电路元件,简称为实际元件。实际元件不但种类繁多,而且对一个实际元件来说,其电磁性能也不是单一的。例如,实验室用的滑线变阻器由导线绕制而成,当有电流通过时,不仅会消耗电能(具有电阻性质),而且还会产生磁场(具有电感性质),此外导线的每匝之间还存在分布电容(具有电容性质)。上述各性质是交织在一起的,而且电压、电流频率不同时,上述各性质的表现程度也不一样。

在电路分析中,如果对实际元件的所有性质加以考虑,将是十分困难的。为了便于对实际电路进行分析和数学描述,在电路理论中采用了模型的概念。这就是在一定条件下,对实际元件加以近似化和理想化,用只具有单一电磁性能的理想电路元件来代表它。所以,理想电路元件是实际元件抽象出来的理想化模型。一种实际元件可用一种或几种理想电路元件的组合来表示。例如上面提到的滑线变阻器,若只考虑其消耗电能的性质,则可用电阻元件来表示;若还考虑磁场的作用,则可用电阻元件与电感元件的组合来表示。同时,对于电磁性能相近的实际元件,也可用同一种理想电路元件近似地表示。例如,所有的电阻器、灯泡、电烙铁、电熨斗等,都可用电阻元件来表示。在电路分析中,常用的理想电路元件只有几种(如电阻元件、电感

元件、电容元件和电源元件等),它们可以用来表示千千万万种实际元件。以后常将理想电路元件简称为电路元件,它们都有各自的精确定义和数学模型,在电路图中用规定的符号表示。

由电路元件构成的电路,称为电路模型。今后我们研究的电路都是电路模型,并非实际电路。所有的实际电路,不论简单的还是复杂的,都可以用有几种电路元件所构成的电路模型来表示。图 1.1(a)和图 1.1(b)所示的实际电路,它们的电路模型如图 1.2(a)和图 1.2(b)所示。上述实际电路中的电池和天线用电源元件表示,灯泡、半导体二极管和耳机用电阻元件表示,线圈用电感元件表示,电容器用电容元件表示。如何把实际电路变成电路模型,即所谓“建模”的问题,不是本课程的任务,本书对此不作讨论。

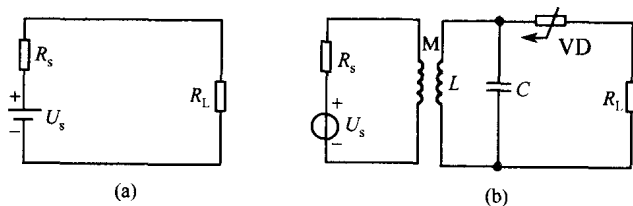


图 1.2 图 1.1 的电路模型

### 思考与练习

- 1.1.1 什么是理想电路元件? 它与实际电路元件有什么区别? 什么是电路模型?
- 1.1.2 一般所说的负载大小,指的是负载电流或功率的大小,还是指的负载电阻的大小?
- 1.1.3 电路在短路状态时,电路中的电流将如何变化? 它对电路的工作有什么影响?

## 1.2 电流和电压的参考方向

电流(current)和电压(voltage)是描述电路工作过程的两个基本物理量。关于它们的定义,在物理学中已有介绍,本处不再重复,只着重讲述它们的参考方向。

### 1.2.1 电流的参考方向

电流用“ $i$ ”或“ $I$ ”表示,“ $I$ ”表示直流电流或交流电流有效值。在国际单位制(SI)中,电流的单位是安培,简称安(A),其辅助单位有千安(kA)、毫安(mA)和微安( $\mu\text{A}$ )。 $1\text{mA} = 10^{-3}\text{A}$ ,  $1\mu\text{A} = 10^{-6}\text{A}$ 。

在电路中,习惯上把正电荷运动的方向规定为电流的实际方向。对于一个简单的电路,有时可以判断出电流的实际方向,但对于复杂电路,却很难做到。如果是正弦交流电流,由于它的实际方向时刻在变化,就更难判定了。为了分析电路方便,引进了参考方向的概念,有的书中把参考方向称为正方向。

所谓电流参考方向,是人们任意假定的电流方向,在电路图中用箭头表示。例如,对于图 1.3 所示的一段电路,它的电流参考方向既可以选定为由 a 至 b(见图 1.3(a)),也可以选定为由 b 至 a(见图

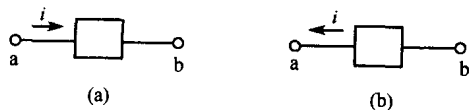


图 1.3 电流的参考方向

1.3(b))。电流的参考方向也可以用双下标表示,如  $i_{ab}$  表示电流的参考方向选定为由 a 指向 b。电流的参考方向不一定就是它的实际方向。一般规定:当电流的实际方向与参考方向一致时,电流的数值前用“+”号表示;反之用“-”号表示。因此,在选定的电流参考方向下,根据电流值的正或负,就可以判断出它的实际方向。

### 1.2.2 电压的参考方向

电压用“ $u$ ”或“ $U$ ”表示,“ $U$ ”表示直流电压或交流电压的有效值。在国际单位制(SI)中,电压的单位为伏特,简称伏(V),它的辅助单位是千伏(kV)、毫伏(mV)和微伏( $\mu\text{V}$ )。

电压是对电路中两点而言的,它表示两点之间的电位差。电压的实际方向规定为由高电位点指向低电位点,即电位下降的方向。电压的参考方向是任意假定的电位下降的方向,它在电路图中可以用箭头来表示,也可以用“+”和“-”极性来表示。箭头所指的方向和电压正极指向电压负极的方向就是电压的参考方向(见图 1.4)。

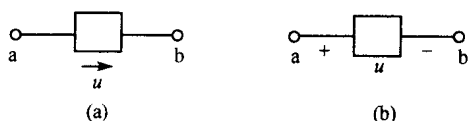


图 1.4 电压的参考方向

还可以用双下标表示,如  $u_{ab}$  表示电压的参考方向为由 a 指向 b。根据规定,如果电压的实际方向与参考方向一致,则在电压的数值前取“+”号,反之取“-”号。因此,在选定的电压参考方向下,根据电压值的正或负,就可以判断出它的实际方向。例如,对于图 1.4 所示电路的电压参考方向,若  $u$  为负,则说明电压的实际方向与参考方向相反,即 b 端电位较 a 端高。

前面已经指出,电流和电压的参考方向可以任意选定。但是对于同一段电路或同一个元件来说,通常将电压的参考方向和电流的参考方向选为一致,如图 1.5(a)所示。采用一致的参考方向后,在电路图中可以只需标明电压或电流的参考方向,如图 1.5(b)和图 1.5(c)所示。本书一般均采用一致的参考方向。一致的参考方向有的书中也称为关联参考方向。

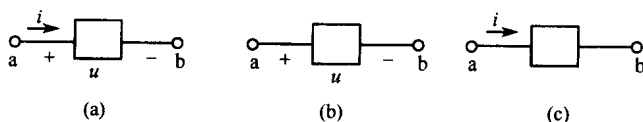


图 1.5 电压和电流一致的参考方向

为了表示电源力对电荷做功的能力,在物理学中还介绍了电动势,它用字母“ $e$ ”或“ $E$ ”表示。电动势的实际方向规定为电位升的方向,即从电源的低电位端(负极)指向高电位端(正极)的方向。电动势的实际方向与电压的实际方向正好相反。电动势的参考方向是任意选定的电位升的方向,如图 1.6 所示。电动势与电压是两个不同的概念,但是都可以用来表示电源正、负极之间的电位差,由于电动势不便于测量,故在电路理论中很少用到电动势概念。

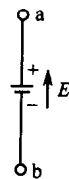


图 1.6 电动势的参考方向

最后需着重指出的是,电流和电压的参考方向是电路分析中一个十分重要的概念,在分析和计算电路前,必须首先在电路上标出参考方向,一般不标实际方向。参考方向可以任意选定,但一经选定,在电路的分析、计算过程中就不允许改变。没有选定参考方向时,电流、电压数值前的“+”、“-”号就没有任何意义。

例 1.1 在图 1.7 所示电路中,方框表示电源或电阻,各元件的电压和电流的参考方向如

图 1.7(a) 所示。通过测量可知： $I_1 = 1\text{A}$ ， $I_2 = 2\text{A}$ ， $I_3 = -1\text{A}$ ， $U_1 = 4\text{V}$ ， $U_2 = -4\text{V}$ ， $U_3 = 7\text{V}$ ， $U_4 = -3\text{V}$ 。试标出各电流和电压的实际方向。

解：根据前文所述，凡电流和电压为正值，其实际方向和参考方向一致；为负值的，其实际方向和参考方向相反。按照上述原则，得到各电流和电压实际方向如图 1.7(b) 所示。

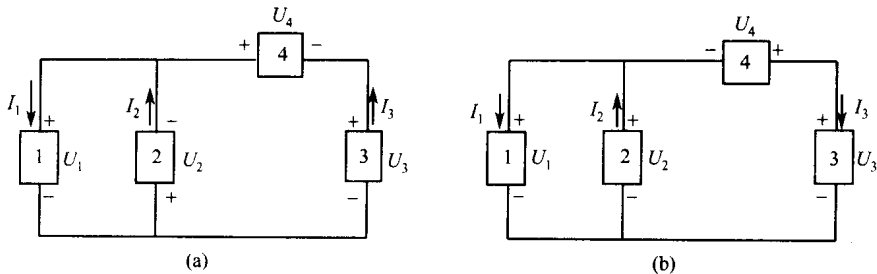


图 1.7 例 1.1 的电路

### 思考与练习

1.2.1 已知流过某元件的直流电流  $I$  为  $2\text{A}$ ，它可以有两种表示方式： $I = 2\text{A}$  和  $I = -2\text{A}$ ，试问这两种表示方法有什么不同？

1.2.2  $U_{ab}$  是否表示 a 端的电位高于 b 端的电位？若  $U_{ab} = -5\text{V}$ ，试问 a、b 两点哪点电位高？

## 1.3 电路的功率

功率是电路分析中常用到的另一个物理量，功率用“ $p$ ”或“ $P$ ”表示。在国际单位制(SI)中，当电压和电流的单位为伏和安时，功率的单位为瓦特，简称瓦(W)，它的辅助单位是千瓦(kW)和毫瓦(mW)等。

如图 1.5(a) 所示，当电压和电流采用一致的参考方向时，计算功率的公式为

$$p = ui \quad (1.1)$$

在直流情况下

$$P = UI \quad (1.2)$$

上述公式是按吸收功率来计算的，即当  $p > 0$  ( $P > 0$ ) 时，表示该段电路吸收(消耗)功率；当  $p < 0$  ( $P < 0$ ) 时，则表示该段电路发出(产生)功率。

若电压和电流的参考方向不一致时，计算功率的表达式为

$$p = -ui \quad \text{或} \quad P = -UI \quad (1.3)$$

判定是吸收功率还是发出功率的原则与式(1.1)和式(1.2)相同。

例 1.2 试计算例 1.1，即图 1.7(a) 所示电路中每个元件的功率，并判断其是电源还是负载？

解：

元件 1：因为它的电压和电流参考方向一致，故

$$P_1 = U_1 I_1 = 4 \times 1 = 4\text{W} > 0, \text{该元件吸收功率, 为负载。}$$

元件 2： $P_2 = U_2 I_2 = -4 \times 2 = -8\text{W} < 0$ ，该元件发出功率，为电源。



元件 3: 因为它的电压和电流的参考方向不一致, 故

$$P_3 = -U_3 I_3 = -7 \times (-1) = 7\text{W} > 0, \text{该元件吸收功率, 为负载。}$$

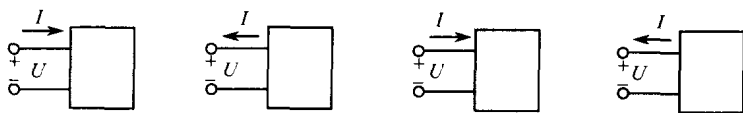
元件 4:  $P_4 = -U_4 I_3 = -(-3) \times (-1) = -3\text{W} < 0$ , 该元件发出功率, 为电源。

由上面计算得整个电路吸收功率的代数和为  $P_1 + P_2 + P_3 + P_4 = (4 - 8 + 7 - 3) = 0$ 。

这说明, 在同一个电路中, 电源提供的功率与负载消耗的总功率是相等的。我们可以利用功率相等关系来校核计算结果的正确与否。

### 思考与练习

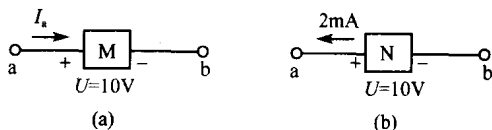
1.3.1 在题 1.3.1 中, 方框代表电源或负载。已知  $U = 100\text{V}$ ,  $I = -2\text{A}$ , 试问哪些方框代表的是电源, 哪些代表的是负载?



题 1.3.1 图

1.3.2 (1) 在题 1.3.2 图(a) 中若元件 M 吸收功率为  $10\text{W}$ , 求  $I_a$ 。

(2) 求题 1.3.2 图(b) 中元件 N 吸收的功率。



题 1.3.2 图

## 1.4 电路元件的伏安关系

前已述及, 我们研究的电路都是电路模型, 它是由若干电路元件构成的。通常采用的电路元件有电阻元件、电容元件、电感元件和电源元件。这些元件是二端元件, 因为它们只有两个端钮与其他元件相连接。其中电阻元件、电容元件和电感元件不产生能量, 称为无源元件; 电源元件是电路中提供能量的元件, 称为有源元件, 它在电路中起“激励”作用, 提供电压使电路中产生电流, 由激励引起的电流和电压称为“响应”。

上述元件端钮间的电压与通过该元件的电流之间都有确定的关系, 这个关系叫做元件的伏安关系。元件的伏安关系由元件性质所决定, 元件不同, 其伏安关系则不同。这种由元件性质给元件中电压、电流施加的约束称为元件约束, 用来表示伏安关系的方程式称为该元件的特性方程或约束方程。

### 1.4.1 电阻元件

电阻元件是从实际电阻器件抽象出来的理想化模型。像电灯泡、电阻炉、电烙铁这类实际电阻器件, 当忽略其电感等作用时, 可将它们抽象为只具有消耗电能特性的电阻元件。

在  $u$  和  $i$  参考方向一致时线性电阻元件的特性方程为

$$u = Ri \tag{1.4}$$

这个式子便是著名的欧姆定律,它表明线性电阻元件的端电压与通过它的电流成正比。比例常数  $R$  称为电阻,是表征电阻元件特性的参数,当  $u$  的单位为伏(V),  $i$  的单位为安(A)时,  $R$  的单位为欧姆,简称欧( $\Omega$ ),较大的单位有千欧(k $\Omega$ )和兆欧(M $\Omega$ ),  $1\text{M}\Omega = 10^6\Omega$ 。习惯上我们也常把电阻元件简称为电阻,所以“电阻”这个名词,既表示电路元件,又表示元件的参数。

当式(1.4)中的  $R$  不是一个常数,即与它的端电压和通过它的电流有关时,则该电阻元件为非线性电阻元件,非线性电阻元件不服从欧姆定律。本书只讨论线性元件。线性电阻元件在电路图中用图 1.8 所示的符号表示。

式(1.4)是在  $u$  和  $i$  参考方向一致条件下得出的,若  $u$  和  $i$  参考方向不一致,则应表述为

$$u = - Ri \quad (1.5)$$

电阻元件的特性方程还可表述为

$$i = Gu \quad (1.6)$$

式中,  $G = 1/R$ ,称为电导,单位为西门子,简称西(S)。

线性电阻元件的伏安关系在  $u-i$  平面上绘出时,称为电阻元件的伏安特性曲线,它是通过坐标原点的直线,这条直线的斜率就是电阻值  $R$ ,如图 1.9 所示。

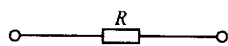


图 1.8 线性电阻的符号

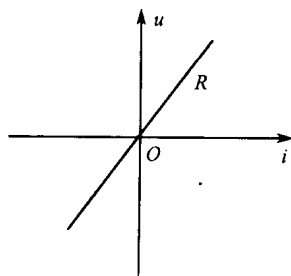


图 1.9 线性电阻的伏安特性曲线

在选定  $u$ 、 $i$  一致的参考方向时,电阻元件功率计算式为

$$p = ui = Ri^2 = u^2/R$$

若选定  $u$ 、 $i$  的参考方向不一致时,其计算结果相同。上式说明  $p$  总是正值,所以电阻元件总是吸收功率(消耗功率),故电阻元件又称为耗能元件。

工程电路中常利用电阻器来实现限流、分压和分流等功能。常用的这类电阻器有碳膜电阻、金属膜电阻及绕线电阻等。工程上还利用电阻器件消耗电能转化为热能的效应,将电阻器做成各种电热器,如电烙铁、电炉和电灯等。在选用电阻器时,注意工作时的电压(或电流)和功率不要超过它们的额定值。

## 1.4.2 电容元件

电容元件是从实际电容器抽象出来的理想化模型。实际电容器通常有两块中间充满介质(如空气、云母、绝缘纸、塑料薄膜、陶瓷等)的金属极板构成。电容器加上电压后,两块金属极板上分别聚集着等量异号电荷,在介质中建立电场,储存能量。当忽略电容器的漏电电阻和引线电感时,可将其抽象为只具有储存电场能量特性的电容元件。

在  $u$ 、 $i$  参考方向一致时,线性电容元件的特性方程为

$$i = C \frac{du}{dt} \quad (1.7)$$