



普通高等教育“十一五”国家级规划教材  
高等学校规划教材

电工电子技术（上册）

# 电工技术

曹才开 主编 熊幸明 刘颖慧 副主编

清华大学出版社



电工电子技术（上册）

# 电工技术

曹才开 主编 熊幸明 刘颖慧 副主编

清华大学出版社

北京

## 内 容 简 介

本书是根据国家教育部关于普通高等教育“十一五”国家级规划教材的基本要求而编写的。本册与熊幸明教授主编的《电工电子技术》下册《电子技术》相配套,作为电工学课程教材。

全书共 11 章,主要内容有:电路的基本概念和定律、电路的基本分析方法、正弦稳态交流电路(包括谐振电路和三相交流电路)、一阶动态电路分析、磁路与变压器、直流电动机、交流电动机、继电器-接触器控制、可编程控制器原理及其应用、工厂供电与安全用电常识和电工测量基本知识。全书共编写了 13 个实训项目,其中基本技能实训项目 5 个,设计性实训项目 6 个,综合实训项目 2 个,加强了实践内容的学习。本册内容除了加有“\*”号的章节外,适用讲课学时为 50 学时左右,实验部分为 10~16 学时。

本书每章有小结和习题,书末提供了部分习题答案,便于教学与自学。

本书可作为应用型本科、高职高专和成人教育相关专业“电工学”课程教材,也可供有关工程技术人员参考。

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

电工电子技术.上册,电工技术/曹才开主编. —北京:清华大学出版社,2007.6

高等学校规划教材

ISBN 978-7-302-14999-6

I. 电… II. 曹… III. ①电工技术—高等学校—教材 ②电子技术—高等学校—教材  
IV. ①TM ②TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 047165 号

责任编辑:刘青

责任校对:李梅

责任印制:李红英

出版发行:清华大学出版社 地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

<http://www.tup.com.cn> 邮 编:100084

[c-service@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:c-service@tup.tsinghua.edu.cn)

社总机:010-62770175 邮购热线:010-62786544

投稿咨询:010-62772015 客户服务:010-62776969

印刷者:北京市清华园胶印厂

装订者:北京市密云县京文制本装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:22.25 字 数:512 千字

版 次:2007 年 6 月第 1 版 印 次:2007 年 6 月第 1 次印刷

印 数:1~4000

定 价:29.00 元

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:(010)62770177 转 3103 产品编号:020663-01

本书(上、下册)是根据教育部 1995 年颁布的高等工业学校“电工技术(电工学 I)”课程的基本要求和国家教育部关于普通高等教育“十一五”国家级规划教材的基本要求,由湖南省高校电子技术教学研究会组织省内部分高等院校教师,在多年教学研究和教材建设的基础上编写而成的。本册与熊幸明教授主编的《电工电子技术》下册《电子技术》相配套,作为电工学课程教材。

本册的主要特色有:

(1) 电路部分“四弱四加强”。电路有关定理的证明弱化甚至不证明,加强定理的应用;数学推导弱化,加强基本内容和概念;三相电路的内容和篇幅减少,加强电路等效的概念和内容;动态电路分析弱化,加强 RC、RL 电路充放电的概念和应用。

(2) 电动机的工作原理和运行特性只做简单介绍,突出电动机的基本结构、使用和维护保养的有关知识。电动机控制部分,把继电器-接触器控制和可编程控制器原理及其应用进行对照比较,便于学生理解和掌握实际工程应用。这两部分内容突出实际工厂设备的具体应用。

(3) 加强应用和实践内容。每章从基本内容到例题、习题均注重理论结合实际,而且章后有 1~2 个实训项目。全书共编写了 13 个实训项目,其中基本技能实训项目 5 个,设计性实训项目 6 个,综合实训项目 2 个。这些项目加强了学生的基本技能训练,强化了学生的创新意识,能提高综合应用能力,积累工程经验,加强学生的实际应用能力和动手能力,缩短从学校到工作岗位的适应距离。

(4) 本书突出基本内容和概念,省略繁杂的数学计算,全书通俗易懂,突出工程应用。较好地实现了高职高专教育的“基础理论以必需、够用为度,突出应用性”的基本指导思想。

(5) 考虑到不同专业、不同学校的实际需要,对书中一些章节、内容加有“\*”号,供教师灵活选用,学生自由选学。

(6) 每章有小结和习题,书末提供了部分习题答案,便于教学与自学。

本册由湖南工学院曹才开教授担任主编,长沙学院熊幸明教授、湖南工业大学刘颖慧副教授担任副主编。具体分工如下:曹才开(第 1~3

章),湖南铁道职业技术学院熊异(第4、10章),熊幸明(第5章),湖南工学院陈艳(第6章),娄底职业技术学院李和平(第7章),刘颖慧(第8、9章),湖南工学院俞斌(第11章)。本书由天津大学万健如教授和国防科技大学邹逢兴教授担任主审。在本册的编写过程中,得到了湖南省高校电子技术教学研究会和参编学校的大力支持,谨致以衷心感谢。

本书于2006年5月经国家教育部组织专家评审,确定为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。

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,恳请读者指正。

**编 者**

2006年8月

<b>第 1 章 电路的基本概念</b> .....	1
1.1 电路和电路模型 .....	1
1.1.1 实际电路和工作方式 .....	1
1.1.2 电路元件和电路模型 .....	2
1.1.3 集总假设及集总电路 .....	3
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
1.2.3 电压、电流的关联参考方向 .....	5
1.3 电路的功率 .....	5
1.4 电路元件的伏安关系 .....	7
1.4.1 无源元件 .....	7
1.4.2 有源元件 .....	12
1.5 基尔霍夫定律 .....	15
1.5.1 基尔霍夫电流定律 .....	16
1.5.2 基尔霍夫电压定律 .....	17
1.6 电路中电位的概念 .....	19
* 实训 1 直流电压(电位)、电流的测量 .....	21
本章小结 .....	23
习题 .....	24
<b>第 2 章 电路的基本分析方法</b> .....	29
2.1 电阻电路的等效变换 .....	29
2.1.1 电路等效变换的概念 .....	29
2.1.2 电阻的串联、并联等效变换 .....	29
2.2 电源的等效变换 .....	33
2.2.1 实际电源的两种等效模型 .....	33
2.2.2 电压源、电流源的串联与并联 .....	34

2.3	有源单口网络的等效——戴维南定理 .....	37
2.4	支路电流法 .....	39
2.4.1	支路电流法的基本思想 .....	39
2.4.2	支路电流法的步骤 .....	40
2.5	叠加原理 .....	40
2.6	节点分析法 .....	43
2.6.1	节点分析法的基本思想 .....	43
2.6.2	通过观察直接列写节点方程 .....	44
*	实训 2 有源二端网络的戴维南等效参数测量(设计性实训) .....	47
*	实训 3 线性网络的叠加性和齐次性实验 .....	48
	本章小结 .....	50
	习题 .....	51
<b>第 3 章</b>	<b>正弦稳态交流电路 .....</b>	<b>56</b>
3.1	正弦量的三要素与有效值 .....	56
3.1.1	正弦量的三要素 .....	56
3.1.2	正弦量的有效值 .....	60
3.2	正弦量的相量表示法及相量电路模型 .....	62
3.2.1	复数的复习 .....	62
3.2.2	正弦量的相量表示法 .....	63
3.2.3	电路元件伏安关系的相量形式 .....	65
3.2.4	基尔霍夫定律的相量形式 .....	69
3.2.5	正弦交流电路的相量电路模型 .....	70
3.3	简单正弦交流电路的分析 .....	71
3.3.1	阻抗与导纳的概念 .....	71
3.3.2	阻抗(导纳)的串、并联 .....	74
3.4	正弦交流电路中的功率 .....	78
3.4.1	瞬时功率 .....	79
3.4.2	平均功率和功率因数 .....	79
3.4.3	无功功率 .....	80
3.4.4	视在功率和额定容量 .....	81
3.4.5	复功率 .....	81
3.4.6	功率因数的提高 .....	84
3.5	正弦交流电路中的谐振 .....	86
3.5.1	串联谐振 .....	86
3.5.2	并联谐振 .....	93
3.6	三相交流电路 .....	96
3.6.1	对称三相电源 .....	96

3.6.2	三相负载的连接 .....	100
3.6.3	三相电路的功率 .....	103
* 实训 4	日光灯电路及功率因数的提高(设计性实训) .....	104
* 实训 5	三相交流电路电压、电流的测量 .....	106
本章小结	.....	109
习题	.....	112
<b>第 4 章</b>	<b>一阶动态电路分析</b> .....	<b>117</b>
4.1	电压和电流初始值的计算 .....	117
4.1.1	动态电路的概念 .....	117
4.1.2	换路定律 .....	118
4.1.3	电压和电流初始值的计算方法 .....	119
4.2	RC 电路的响应 .....	121
4.2.1	RC 串联电路的零输入响应 .....	121
4.2.2	RC 串联电路的零状态响应 .....	123
4.2.3	RC 电路的全响应 .....	124
4.3	RL 电路的响应 .....	125
4.3.1	RL 串联电路的零输入响应 .....	125
4.3.2	RL 串联电路的零状态响应 .....	127
4.3.3	RL 电路的全响应 .....	128
4.4	一阶电路的三要素法 .....	129
4.4.1	一阶电路响应的规律 .....	129
4.4.2	三要素分析法 .....	130
* 4.5	微分电路和积分电路 .....	133
4.5.1	微分电路 .....	133
4.5.2	积分电路 .....	135
* 实训 6	RC 电路的响应(设计性实训) .....	135
本章小结	.....	136
习题	.....	137
<b>第 5 章</b>	<b>磁路与变压器</b> .....	<b>140</b>
5.1	磁路的基本概念 .....	140
5.1.1	磁路的基本物理量 .....	140
5.1.2	磁路的组成 .....	142
5.1.3	磁性材料的磁性能 .....	142
5.2	磁路欧姆定律 .....	144
5.3	交流铁心线圈 .....	145
5.3.1	电磁关系 .....	145



5.3.2	铁心线圈的功率损耗 .....	146
5.4	变压器 .....	148
5.4.1	变压器的基本结构 .....	148
5.4.2	变压器的工作原理 .....	150
5.4.3	变压器的运行特性 .....	154
5.4.4	变压器的使用 .....	155
5.4.5	变压器绕组同名端的判定 .....	156
5.5	其他变压器 .....	158
5.5.1	三相变压器 .....	158
5.5.2	自耦变压器 .....	160
5.5.3	仪用变压器 .....	160
5.5.4	电焊变压器 .....	162
	* 实训 7 变压器的空载特性和外特性的测量(设计性实训) .....	163
	本章小结 .....	165
	习题 .....	166
<b>* 第 6 章</b>	<b>直流电动机 .....</b>	<b>169</b>
6.1	直流电动机的构造 .....	169
6.2	直流电动机的基本工作原理 .....	171
6.2.1	直流电动机的转动原理 .....	171
6.2.2	直流电动机的励磁方式 .....	172
6.3	他励电动机的机械特性 .....	173
6.3.1	电枢电路的平衡方程 .....	173
6.3.2	他励直流电动机的机械特性 .....	173
6.4	他励电动机的运行 .....	175
6.4.1	他励电动机的起动 .....	175
6.4.2	他励电动机的反转 .....	176
6.4.3	他励电动机的调速 .....	176
6.5	直流电动机的使用 .....	178
6.5.1	直流电动机的铭牌和额定值 .....	178
6.5.2	直流电动机的选用常识 .....	179
6.5.3	直流电动机的故障分析与维护 .....	180
	* 实训 8 直流电动机的研究 .....	183
	本章小结 .....	186
	习题 .....	187
<b>第 7 章</b>	<b>交流电动机 .....</b>	<b>189</b>
7.1	三相异步电动机的基本结构 .....	189

7.1.1	定子结构 .....	189
7.1.2	转子结构 .....	191
7.2	三相异步电动机的工作原理 .....	192
7.2.1	旋转磁场 .....	192
7.2.2	三相异步电动机的转动原理 .....	195
7.3	三相异步电动机的机械特性 .....	196
7.3.1	三相异步电动机的功率 .....	197
7.3.2	电磁转矩 .....	197
7.3.3	机械特性曲线 .....	198
7.4	三相异步电动机的运行 .....	200
7.4.1	三相异步电动机的起动 .....	201
7.4.2	三相异步电动机的反转 .....	203
7.4.3	三相异步电动机的调速 .....	204
7.4.4	三相异步电动机的制动 .....	205
7.5	三相异步电动机的使用 .....	206
7.5.1	三相异步电动机的铭牌和额定值 .....	206
7.5.2	三相异步电动机的选用常识 .....	209
7.6	三相异步电动机的维护保养 .....	210
7.6.1	起动前的准备与检查 .....	210
7.6.2	运行中的巡视 .....	212
7.6.3	定期维护 .....	212
7.7	单相异步电动机 .....	214
7.7.1	单相电动机的基本结构 .....	214
7.7.2	单相异步电动机的类型与应用 .....	215
	* 实训 9 三相鼠笼式异步电动机(综合实训) .....	217
	本章小结 .....	221
	习 题 .....	221
<b>第 8 章</b>	<b>继电器-接触器控制 .....</b>	<b>223</b>
8.1	常用低压控制电器 .....	223
8.1.1	常用开关电器 .....	223
8.1.2	交流接触器 .....	227
8.1.3	继电器 .....	229
8.1.4	其他常用电器 .....	232
8.2	三相异步电动机的单向起停控制线路 .....	235
8.2.1	三相异步电动机的点动控制线路 .....	235
8.2.2	三相异步电动机的单向起停控制线路与自锁 .....	236
8.3	三相异步电动机的正反转控制线路 .....	236

8.4	三相异步电动机的典型控制方式	238
8.4.1	行程控制	238
8.4.2	时间控制	239
8.4.3	顺序控制	240
8.4.4	多点控制	241
8.4.5	制动控制	241
8.4.6	应用举例	243
8.5	阅读继电器-接触器控制线路图的要点	245
8.5.1	阅读要点	245
8.5.2	C650型卧式车床电气控制线路分析	246
* 实训 10	三相异步电动机控制电路设计(设计性实训)	251
* 实训 11	继电器-接触器控制线路故障的检查(综合实训)	252
	本章小结	257
	习题	257
<b>* 第 9 章</b>	<b>可编程控制器原理及其应用</b>	<b>260</b>
9.1	可编程控制器的结构与工作原理	260
9.1.1	可编程控制器的结构	261
9.1.2	可编程控制器的工作原理	262
9.1.3	可编程控制器的功能与特性	264
9.1.4	可编程控制器的技术指标	265
9.2	可编程控制器的程序设计基础	267
9.2.1	PLC的编程语言	267
9.2.2	编程原则与方法	268
9.2.3	FX2系列 PLC的指令系统	269
9.3	可编程控制器的应用举例	277
9.3.1	三相异步电动机的单向起停控制	277
9.3.2	三相异步电动机的正反转控制	278
9.3.3	三相异步电动机的Y- $\Delta$ 降压起动控制	278
9.3.4	抢答显示系统	279
9.4	可编程控制器的选用常识	281
9.4.1	根据输入输出条件选型	281
9.4.2	根据编程方法选型	282
* 实训 12	三相异步电动机的 PLC 控制实训(设计性实训)	282
	本章小结	284
	习题	285

<b>第 10 章 工厂供电与安全用电常识</b> .....	287
10.1 电力传输概念 .....	287
10.2 工厂供配电系统简介 .....	289
10.2.1 供电系统 .....	290
10.2.2 工厂配电线路 .....	291
10.2.3 工厂供配电电压 .....	291
10.3 安全用电常识 .....	291
10.3.1 电流对人体的作用 .....	291
10.3.2 几种触电方式 .....	292
10.3.3 接地与接零 .....	293
10.3.4 触电急救常识 .....	295
10.4 节约用电常识 .....	296
10.4.1 节约用电的意义 .....	296
10.4.2 节约用电的主要途径 .....	296
本章小结 .....	298
习题 .....	298
<b>*第 11 章 电工测量基本知识</b> .....	300
11.1 引言 .....	300
11.2 测量误差 .....	301
11.2.1 测量误差的几个名词术语 .....	301
11.2.2 测量误差的来源 .....	302
11.2.3 测量误差的表示 .....	303
11.2.4 测量误差的分类 .....	306
11.2.5 有效数字 .....	307
11.3 电工测量仪器的基本知识 .....	309
11.3.1 电工仪表的分类和符号 .....	309
11.3.2 电工仪表的结构和工作原理 .....	310
11.3.3 电工仪表的选用常识 .....	313
11.4 电工测量技术 .....	314
11.4.1 电流的测量 .....	314
11.4.2 电压的测量 .....	315
11.4.3 电功率的测量 .....	316
11.4.4 用电桥测量 $R$ 、 $L$ 、 $C$ .....	318
11.5 万用表的使用 .....	322
11.5.1 概述 .....	322
11.5.2 万用表的使用方法 .....	323
11.5.3 万用表使用的注意事项 .....	324

11.6 兆欧表 .....	328
11.6.1 兆欧表的工作原理 .....	328
11.6.2 兆欧表的使用方法 .....	329
* 实训 13 常用电子仪器仪表的使用 .....	329
本章小结 .....	333
习题 .....	333
<b>部分习题答案</b> .....	<b>335</b>
<b>参考文献</b> .....	<b>343</b>

## 电路的基本概念

本章介绍了电路模型和电阻、电容、电感、电压源、电流源等理想电路元件。引出了电流和电压参考方向的概念,还介绍了电路功率的计算。电路中电压、电流要受到两类约束,其中一类约束来自元件的本身性质,即元件的伏安关系;另一类约束来自元件的相互连接方式,即基尔霍夫定律。最后介绍了电路中电位的概念。

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,所以它是本课程的基础。

### 1.1 电路和电路模型

#### 1.1.1 实际电路和工作方式

##### 1. 实际电路及组成部分

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。典型的例子是电力系统,发电机组产生的电能通过变压器、输电线等输送给各用电单位,这就构成了一个很复杂的电路。又如我们所熟识的手电筒,是用来照明的一种最简单的电力电路,它由电池、灯泡和开关按钮通过手电筒壳(导体)连接而成,如图 1.1(a)所示。其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。例如收音机电路。

电源、负载和中间环节,是电路的三个基本组成部分。

##### 2. 电路的工作方式

电路在工作时,对电源来说,通常处于下列三种方式之一:负载、空载和短路。

在负载工作方式时,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,

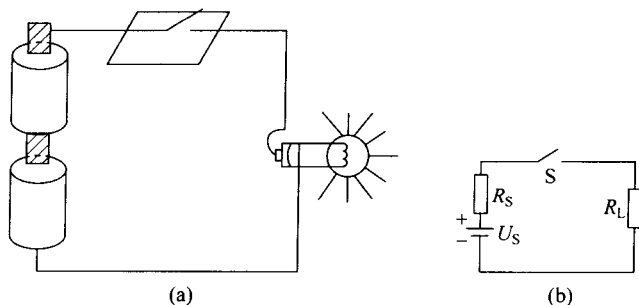


图 1.1 实际电路及其模型

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。

在空载开路时,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。如内阻很小,则此电流将很大,以致烧毁电源、导线等。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,一旦发生事故,它们能迅速将故障电路自动切断。

### 1.1.2 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,它由导线绕制而成,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);不仅如此,导线的匝与匝之间还存在分布电容(具有电容性质)。上述性质是交织在一起的,而且当电压、电流的频率不同时,其表现程度也不一样。

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,把电和磁分离开,用只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征。例如上面提到的灯泡,若只考虑其消耗电能的性质,则可用电阻元件来表征。对于电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征,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征。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),它们可以用来表征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,都可以用几种电路元件所构成的电路模型来表示。例如手电筒的电路模型如图 1.1(b)所示,其中  $U_s$  表示开关 S 断开时电池两端的电压,  $R_s$  表示电池的内阻,  $R_L$  表示灯泡(负载)。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。

### 1.1.3 集总假设及集总电路

理想电路元件只表现一种电或磁的性能,并认为其电磁过程都集中在元件内部进行,这样的元件称为集总参数元件。由集总参数元件构成的电路称为集总参数电路,简称集总电路。

用集总电路近似描述实际电路,需要满足以下条件:实际电路的尺寸(长度)要远远小于电路工作频率对应的电磁波的长度。例如,我国电力用电的频率为 50Hz,对应的波长为 6000km,而电力传输线的长度一般有几百公里至几千公里,即传输线的长度接近它工作频率对应的电磁波的长度,因此,电力传输线不能用集总电路来近似描述,而要用分布参数电路理论来分析。对实验室电路来说,其尺寸比与它工作频率对应的电磁波的长度要小得多,几乎可以忽略不计,因而用集总的概念是完全可以的。

集总参数电路模型是电路理论中最基本的假设。本书研究的电路均为集总电路,因此,将省略“集总”二字。

## 1.2 电流和电压的参考方向

电流和电压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,本书不再重复,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,“ $i$ ”表示任意电流。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( $\mu$ 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,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,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 1.2 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,如图 1.2(a)所示,也可以选定为由 B 至 A,如图 1.2(b)所示。电流的参考方向也可以用双下标表示,如  $i_{AB}$ ,它表示电流的

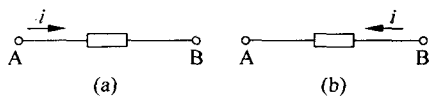


图 1.2 电流的参考方向



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。我们规定：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，根据计算得到的电流值的正或负，就可以判断出它的实际方向。例如图 1.3(a)中电流  $i = -6\text{A}$  (实线箭头)，电流的实际方向如图 1.3(a)虚线箭头所示，即电流的实际方向与电流的参考方向相反。图 1.3(b)中电流  $i = 6\text{A}$  (实线箭头)，电流的实际方向如图 1.3(b)虚线箭头所示，即电流的实际方向与电流的参考方向相同。

测量电路中的电流时，必须将电流表串入被测电流的支路中。在测量直流电流时，电流的实际方向应从电流表的“+”端流入，如图 1.4 所示。

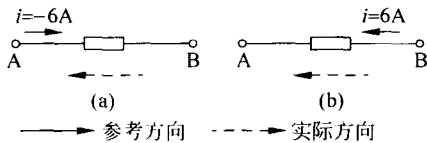


图 1.3 电流实际方向的确定

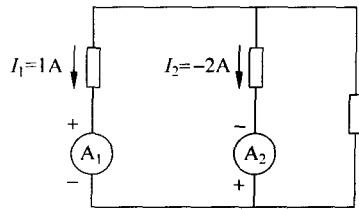


图 1.4 直流电流的测量

### 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有效值，“ $u$ ”表示任意电压。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位点指向低位点，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，它在电路图中用“+”、“-”极性来表示(也可以用箭头来表示)，还可以用双下标表示，如  $u_{AB}$ ，它表示电压的参考方向为：A 为正极、B 为负极，如图 1.5(a)所示。反之， $u_{BA}$  表示电压的参考方向为：B 为正极、A 为负极，如图 1.5(b)所示。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，根据计算得到的电压值的正或负，就可以判断出它的实际方向。例如，对于图 1.5(a)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。

测量电路中的电压时，必须将电压表与被测电压的支路并联。在测量直流电压时，电压的实际“+”极应与电压表的“+”端一致，如图 1.6 所示。

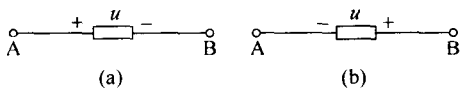


图 1.5 电压的参考方向

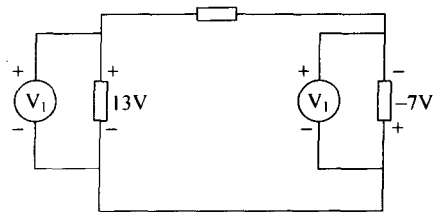


图 1.6 直流电压的测量