



新世纪高等学校规划教材·电气工程系列

主 编◎孟 祥

副主编◎胡冬梅

# 电工技术



北京师范大学出版集团  
BEIJING NORMAL UNIVERSITY PUBLISHING GROUP  
北京师范大学出版社



新世纪高等学校规划教材·电气工程系列

主 编◎孟 祥

副主编◎胡冬梅

编 委◎苑广军 孙继元 杨利媛

# 电工技术

DIANGONG JISHU



北京师范大学出版集团  
BEIJING NORMAL UNIVERSITY PUBLISHING GROUP  
北京师范大学出版社

---

图书在版编目 (CIP) 数据

电工技术/孟祥主编. —北京: 北京师范大学出版社, 2019.01  
新世纪高等学校规划教材. 电气工程系列  
ISBN 978-7-303-24463-8

I. ①电… II. ①孟… 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 (2019) 第 000922 号

---

营销中心电话 010-62978190 62979006  
北师大出版社科技与经管分社 [www.jswsbook.com](http://www.jswsbook.com)  
电子邮箱 [jswsbook@163.com](mailto:jswsbook@163.com)

---

出版发行: 北京师范大学出版社 [www.bnup.com](http://www.bnup.com)  
北京市海淀区新街口外大街 19 号  
邮政编码: 100875

印 刷: 保定市中国画美凯印刷有限公司  
经 销: 全国新华书店  
开 本: 787 mm×1092 mm 1/16  
印 张: 20.25  
字 数: 438 千字  
版 次: 2019 年 1 月第 1 版  
印 次: 2019 年 1 月第 1 次印刷  
定 价: 48.00 元

---

策划编辑: 赵洛育	责任编辑: 赵洛育
美术编辑: 刘超	装帧设计: 刘超
责任校对: 赵非非 马子杰	责任印制: 赵非非

**版权所有 侵权必究**

反盗版、反侵权举报电话: 010-62978190  
北京读者服务部电话: 010-62979006-8021  
外埠邮购电话: 010-62978190

本书如有印装质量问题, 请与印制管理部联系调换。  
印制管理部电话: 010-62979006-8006



## ❖ 内 容 简 介 ❖

全书共分 10 章，分别是电路的基本概念和基本定律、电路的基本分析方法、正弦交流稳态电路、三相电路、非正弦周期电流电路、电路的暂态分析、磁路和变压器、异步电动机、继电器控制系统和电工测量。每章设有学习目标、知识结构、引例、练习与思考和习题，内容丰富实用，有利于培养学生的创新应用能力。

本书可作为高等院校非电类专业本科教材，也可作为高职高专教育、成人教育、电大等相关专业的教学用书，同时可作为从事电工技术相关人员的参考书。

# ◆ 前 言 ◆

电工技术是高等院校非电类专业的一门重要专业基础课程，是理论性、专业性和应用性较强的课程。本书在编写过程中，以创新型人才培养目标为依据，结合编者多年教学和工作经验，并参考国内外教材，旨在使学生通过该门课程的学习，获得电工技术方面必备的基本理论、基本知识和基本技能，掌握简单电气设备、电子电路相关知识，为学习后续课程以及今后从事相关工程技术工作打下坚实的基础。

本书在内容体系上加强了知识结构的系统性和完整性，扩大了知识面，加强了应用性。具体有以下特色：

1. 每章设有学习目标、知识结构，并以生活中常见的实例引出每章内容，能够激发学生的学习兴趣。
2. 注重基本概念、基本定律和电路的基本分析、计算方法的讲解，主次分明，详略得当。
3. 层次结构由浅入深，重点内容详细交代，过深内容点到为止。
4. 力求做到简洁与易懂相结合，语言流畅，通俗易懂，易于学生学习和理解。
5. 部分章节增加了实用电路介绍，以便提高学生的学习兴趣和实践能力。

本书由北华大学教师编写完成，赵莹任主编，胡冬梅任副主编，孙继元、苑广军参编。第1~4章由赵莹编写；第5~7章由胡冬梅编写；第8~9章由孙继元编写；第10章和参考答案由苑广军编写。

全书在北京师范大学出版社指导下完成，在编写过程中借鉴了许多参考资料，在此对北京师范大学出版社各位编辑及参考资料的作者一并表示感谢。

限于经验和水平，书中错误与疏漏在所难免，恳请广大读者提出宝贵意见。

编 者  
2018-5-1

# 目 录

第 1 章 电路的基本概念和基本定律.....	1
1.1 电路和电路模型.....	2
1.1.1 电路的作用与组成.....	2
1.1.2 电路模型.....	3
练习与思考.....	4
1.2 电流、电压及其参考方向.....	4
1.2.1 电流及其参考方向.....	4
1.2.2 电压及其参考方向.....	5
练习与思考.....	6
1.3 功率的计算.....	7
练习与思考.....	8
1.4 电阻元件与欧姆定律.....	9
练习与思考.....	11
1.5 理想电源和受控电源.....	11
1.5.1 理想电压源.....	11
1.5.2 理想电流源.....	12
1.5.3 实际电源的电路模型.....	12
1.5.4 受控电源.....	13
练习与思考.....	14
1.6 电源有载工作、开路与短路.....	15
1.6.1 电源有载工作.....	15
1.6.2 电源开路与电源短路.....	17
练习与思考.....	18
1.7 基尔霍夫定律.....	19
1.7.1 电路结构术语.....	19
1.7.2 基尔霍夫电流定律 (KCL).....	20
1.7.3 基尔霍夫电压定律 (KVL).....	21
练习与思考.....	24
1.8 电位及其计算.....	25
练习与思考.....	27
1.9 电阻的串、并联及其等效变换.....	28



1.9.1	电阻的串联.....	28
1.9.2	电阻的并联.....	29
1.9.3	电阻的星形联结和三角形联结.....	33
1.9.4	输入电阻.....	36
	练习与思考.....	36
	习题.....	37
<b>第2章</b>	<b>电路的基本分析方法.....</b>	<b>42</b>
2.1	电压源与电流源及其等效变换.....	42
2.1.1	电压源与电流源.....	42
2.1.2	电源的等效变换.....	43
	练习与思考.....	44
2.2	支路电流法.....	44
	练习与思考.....	46
2.3	结点电压法.....	47
	练习与思考.....	50
2.4	叠加定理.....	51
	练习与思考.....	54
2.5	等效电源定理.....	54
2.5.1	戴维宁定理.....	55
2.5.2	诺顿定理.....	56
	练习与思考.....	57
	习题.....	58
<b>第3章</b>	<b>正弦交流稳态电路.....</b>	<b>63</b>
3.1	正弦交流电的基本概念.....	64
3.1.1	周期、频率和角频率.....	65
3.1.2	幅值和有效值.....	65
3.1.3	初相位.....	66
	练习与思考.....	67
3.2	正弦量的相量表示法.....	67
3.2.1	复数.....	68
3.2.2	正弦量的相量表示.....	69
	练习与思考.....	71
3.3	电阻、电感、电容单一元件的交流电路.....	72
3.3.1	电感元件和电容元件.....	72
3.3.2	电阻元件的伏安特性.....	77
3.3.3	电感元件的伏安特性.....	78



3.3.4	电容元件的伏安特性 .....	79
	练习与思考 .....	80
3.4	$RLC$ 串联的交流电路 .....	81
	练习与思考 .....	84
3.5	阻抗及其串、并联等效化简 .....	85
3.5.1	阻抗的定义 .....	85
3.5.2	阻抗的串联 .....	86
3.5.3	阻抗的并联 .....	87
	练习与思考 .....	89
3.6	复杂正弦交流电路的计算 .....	90
3.7	正弦交流稳态电路的功率 .....	92
3.7.1	瞬时功率 .....	92
3.7.2	有功功率、无功功率和视在功率 .....	93
3.7.3	功率因数的提高 .....	94
3.7.4	电阻、电感、电容元件的功率计算 .....	96
3.7.5	功率守恒定律 .....	97
	练习与思考 .....	98
3.8	正弦交流稳态电路的频率特性 .....	98
3.8.1	滤波电路 .....	98
3.8.2	谐振电路 .....	103
	练习与思考 .....	109
	习题 .....	109
<b>第 4 章</b>	<b>三相电路 .....</b>	<b>115</b>
4.1	三相电源和三相负载 .....	116
4.1.1	对称三相电源及其连接方法 .....	116
4.1.2	三相负载及其连接方式 .....	118
4.1.3	三相电路 .....	119
	练习与思考 .....	120
4.2	相电压（相电流）、线电压（线电流）及其关系 .....	120
4.2.1	相电压、线电压及其关系 .....	120
4.2.2	相电流、线电流及其关系 .....	121
	练习与思考 .....	123
4.3	三相电路的计算 .....	123
4.3.1	负载星形联结的三相电路计算 .....	123
4.3.2	负载三角形联结的三相电路计算 .....	126
	练习与思考 .....	129
4.4	三相电路的功率计算 .....	129



练习与思考.....	131
习题.....	131
<b>第5章 非正弦周期电流电路.....</b>	<b>133</b>
5.1 非正弦周期电压和电流.....	134
练习与思考.....	134
5.2 非正弦周期量的分解.....	135
练习与思考.....	137
5.3 非正弦周期量的有效值、平均值和功率.....	137
5.3.1 有效值.....	137
5.3.2 平均值.....	137
5.3.3 平均功率.....	138
5.3.4 非正弦周期电流与电压的测量.....	139
练习与思考.....	139
5.4 非正弦周期电路的计算.....	140
练习与思考.....	143
习题.....	143
<b>第6章 电路的暂态分析.....</b>	<b>146</b>
6.1 换路定则及初始值的确定.....	147
6.1.1 换路定则.....	147
6.1.2 初始值的确定.....	148
练习与思考.....	150
6.2 $RC$ 电路的暂态分析.....	151
6.2.1 $RC$ 电路的零输入响应.....	151
6.2.2 $RC$ 电路的零状态响应.....	154
6.2.3 $RC$ 电路的全响应.....	157
练习与思考.....	158
6.3 $RL$ 电路的暂态分析.....	158
6.3.1 $RL$ 电路的零输入响应.....	158
6.3.2 $RL$ 电路的零状态响应.....	160
6.3.3 $RL$ 电路的全响应.....	163
练习与思考.....	163
6.4 一阶电路暂态分析的三要素法.....	164
练习与思考.....	168
6.5 微分电路与积分电路.....	169
6.5.1 微分电路.....	169
6.5.2 积分电路.....	171



练习与思考.....	172
习题 .....	172
<b>第7章 磁路和变压器 .....</b>	<b>175</b>
7.1 磁路及其基本定律.....	176
7.1.1 磁路的基本物理量.....	177
7.1.2 磁性材料的磁性能.....	178
7.1.3 磁路的基本定律.....	180
练习与思考.....	184
7.2 交流铁心线圈电路.....	184
7.2.1 电磁关系.....	185
7.2.2 电压电流关系.....	185
7.2.3 功率损耗.....	186
练习与思考.....	188
7.3 变压器.....	188
7.3.1 变压器的结构和分类.....	189
7.3.2 变压器的工作原理.....	190
7.3.3 变压器的外特性.....	194
7.3.4 变压器的损耗与效率.....	195
7.3.5 三相变压器.....	196
7.3.6 变压器的铭牌与额定值.....	197
7.3.7 特种变压器.....	199
7.3.8 变压器绕组的同名端.....	201
练习与思考.....	202
习题 .....	203
<b>第8章 异步电动机.....</b>	<b>205</b>
8.1 三相异步电动机的构造.....	207
8.2 三相异步电动机的工作原理.....	208
8.2.1 旋转磁场的产生.....	209
8.2.2 旋转磁场的方向.....	211
8.2.3 三相异步电动机的极数与转速.....	211
8.2.4 转差率 $s$ .....	212
练习与思考.....	213
8.3 三相异步电动机的定、转子电路分析.....	213
8.3.1 定子电路.....	213
8.3.2 转子电路.....	214
练习与思考.....	216



8.4	三相异步电动机的转矩与机械特性	216
8.4.1	电磁转矩	216
8.4.2	机械特性曲线	217
	练习与思考	220
8.5	三相异步电动机的起动	221
8.5.1	起动特点	221
8.5.2	起动方法	222
	练习与思考	227
8.6	三相异步电动机的调速	227
8.6.1	变极调速	227
8.6.2	变频调速	228
8.6.3	变转差率调速	229
8.7	三相异步电动机的铭牌	229
	练习与思考	234
8.8	单相异步电动机	235
8.8.1	单相电动机的脉动磁场	235
8.8.2	单相交流异步电动机的转矩特点	236
8.8.3	电容式电动机	237
	习题	240
<b>第9章</b>	<b>继电器接触器控制系统</b>	<b>241</b>
9.1	常用低压控制电器	242
9.1.1	电气设备的定义与分类	242
9.1.2	配电电器	244
9.1.3	受控电器	247
9.1.4	主控电器	254
	练习与思考	256
9.2	继电器接触器控制线路	257
9.2.1	电气原理图的绘制	257
9.2.2	三相异步电动机直接起动的控制线路	257
	练习与思考	262
9.3	实用电气控制系统举例	262
	习题	265
<b>第10章</b>	<b>电工测量</b>	<b>267</b>
10.1	电工测量仪表的分类	268
	练习与思考	270
10.2	电工测量仪表的类型	271



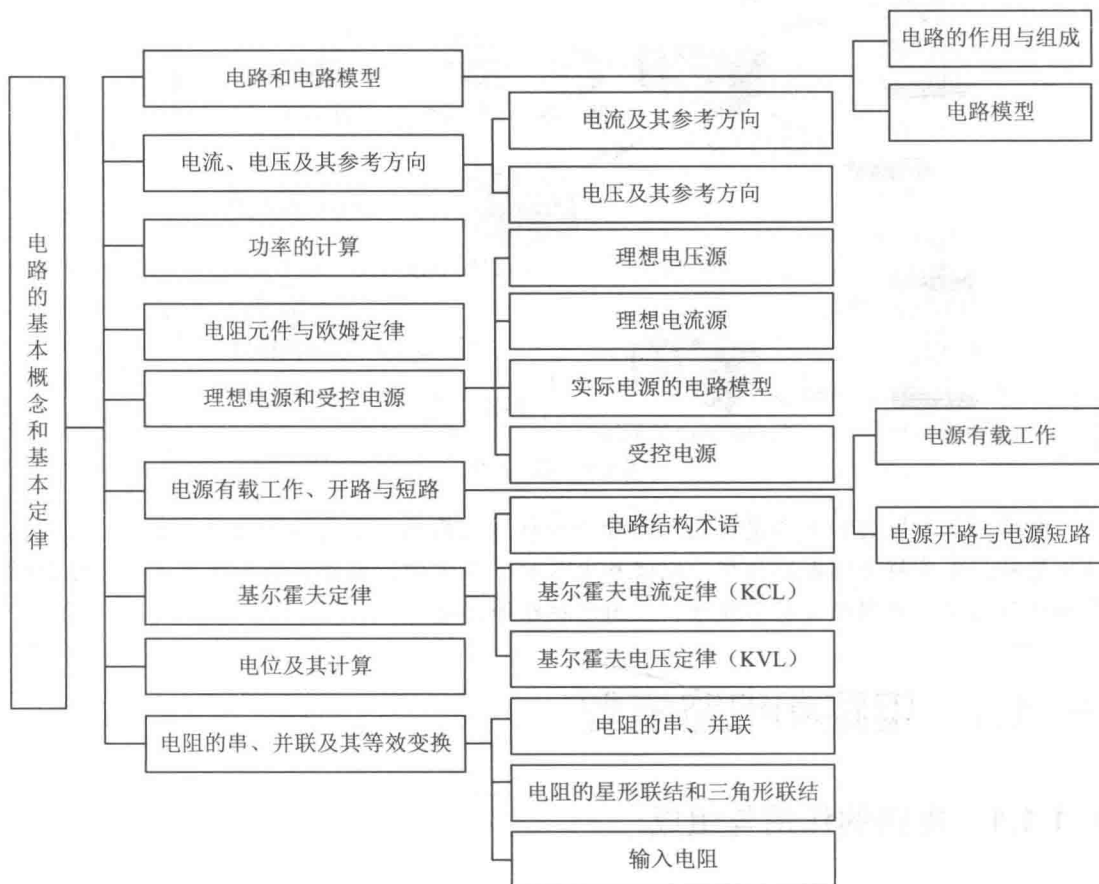
10.2.1 磁电式仪表 .....	271
10.2.2 电磁式仪表 .....	272
10.2.3 电动式仪表 .....	273
练习与思考 .....	275
10.3 电流的测量 .....	275
练习与思考 .....	276
10.4 电压的测量 .....	276
练习与思考 .....	277
10.5 万用表 .....	277
10.5.1 磁电式万用表 .....	277
10.5.2 数字式万用表 .....	279
练习与思考 .....	280
10.6 功率的测量 .....	280
10.6.1 单相交流和直流功率的测量 .....	280
10.6.2 三相功率的测量 .....	281
练习与思考 .....	283
10.7 兆欧表 .....	283
练习与思考 .....	284
10.8 电桥测量电阻、电容与电感 .....	284
10.8.1 直流电桥 .....	285
10.8.2 交流电桥 .....	285
练习与思考 .....	287
10.9 非电量的电测法 .....	287
10.9.1 应变电阻传感器 .....	288
10.9.2 电感传感器 .....	289
10.9.3 电容传感器 .....	290
10.9.4 热电传感器 .....	291
练习与思考 .....	294
习题 .....	294
参考文献 .....	297
习题答案 .....	298

# ❖ 第 1 章 电路的基本概念和基本定律 ❖

## 学习目标

- ☑ 了解实际电路与电路模型的区别。
- ☑ 理解电压与电流参考方向的意义。
- ☑ 掌握功率的计算公式。
- ☑ 理解电阻元件、理想电源及受控电源的定义及伏安特性。
- ☑ 掌握基尔霍夫定律的内容及应用方法。
- ☑ 熟悉电位的概念及计算方法。
- ☑ 掌握电阻串、并联等效化简及分压公式和分流公式。

## 本章知识结构





## 引例

电路理论是当代电气工程和电子科学技术的重要理论之一，经过一个多世纪的发展，已发展成为一门体系完整、逻辑严密、具有强大生命力的学科领域。电路理论在实际生产生活中应用非常广泛，如家用电器（微波炉、电饭煲、电冰箱、空调等），这些电器内部具有使其正常工作的交流电路。而常用的手电筒（见图 1.1）内部是一个最简单的直流电路，电力系统、通信系统（见图 1.2）内部包含比较复杂的电路。

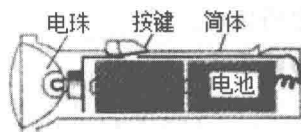


图 1.1 手电筒模型图

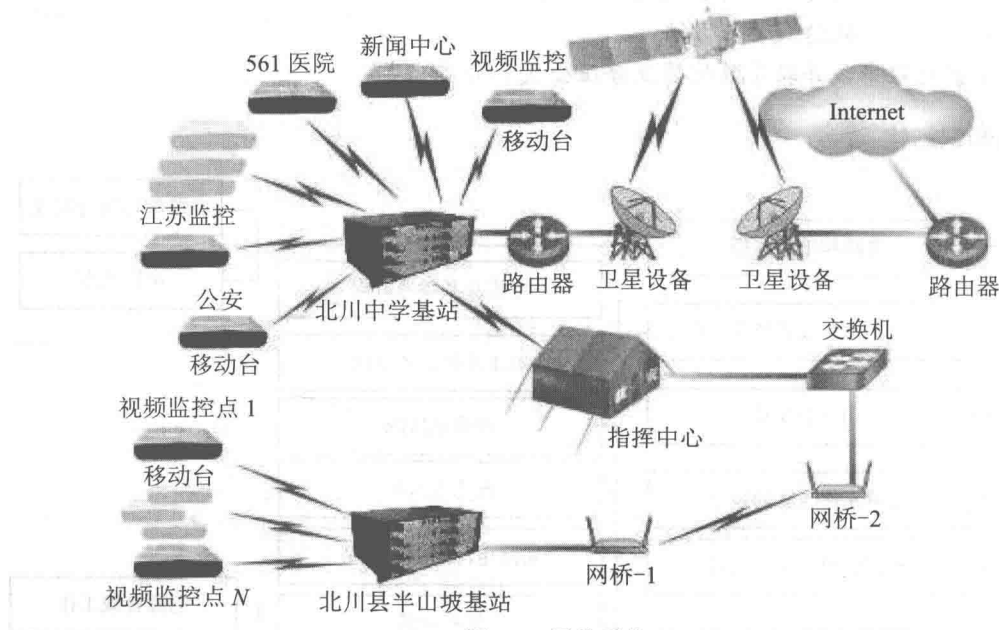


图 1.2 通信系统

电路的基本概念和基本定律是电路分析和计算的基础，也是后面的电子电路、电机电路的基础。本章将介绍电路模型、电流和电压的参考方向、电源、基尔霍夫定律、电位计算和电阻的串、并联以及星形联结、三角形联结等问题。

## 1.1 电路和电路模型

### 1.1.1 电路的作用与组成

电路是电流的通路，是为了实现某种功能而由某些电气设备或元器件按一定方式组合



起来的。常见的电气设备有发电机、变压器、电动机、电热炉等；常见的电子器件有二极管、三极管、晶闸管等。

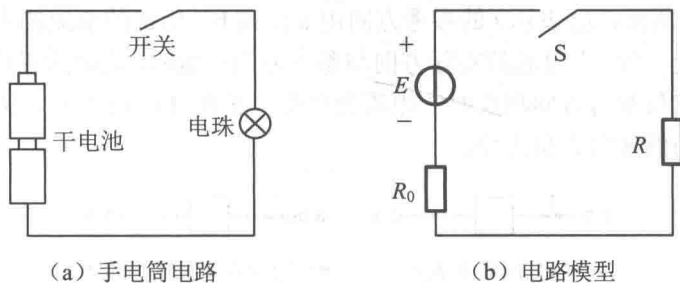
电路的结构形式千差万别，所完成的功能也各不相同。电路按其结构可分为3个部分，即提供电能和信号的电源部分、吸收电能或信号的负载部分，还有其他一些中间环节。如图1.3所示的电力系统电路，在发电厂内发电机把热能、水能、风能、核能等能量转换为电能，再经变压器升压后由输电线路完成电能的传输，建在用户端的变电站经变压器降压后将电能分配给负载，通过负载把电能转换为机械能、热能或其他形式的能量。这个系统中，发电机是电源部分；电动机、电炉、电灯等是负载，是取用电能的设备；变压器和输电线路是中间环节，是连接电源和负载的部分，起传输和分配电能的作用。



电路中的电压和电流是在电源和信号源的作用下产生的，因此电源和信号源称为激励，也称为输入；由激励在电路各部分产生的电压和电流称为响应，也称为输出。所谓电路分析，就是在已知电路结构和元器件参数的情况下，研究电路的激励和响应之间的关系。

## ► 1.1.2 电路模型

为了分析和研究电路，常采用模型化的方法（将实际元件理想化），即在一定的条件下突出其主要的电磁性质，忽略其次要因素，用足以表示其特性的理想化模型来表示它。由一些理想电路元件所组成的电路，就是实际电路的电路模型，它是对实际电路电磁性质的科学抽象和概括。在理性电路元件中主要有电阻元件、电感元件、电容元件和电源器件等。例如手电筒电路：其实际电路元件有干电池、开关、电珠和筒体，连线图如图1.4(a)所示；电路模型如图1.4(b)所示，其中理想电阻元件 $R$ 是电珠的电路模型，理想电压源 $E$ 和电阻元件 $R_0$ 的串联组合是干电池的电路模型，筒体起传输电流的作用，用理想导线表示，开关用 $S$ 表示。图1.4(b)所示的电路模型又称为电路图。在电路图中，将理想电路元件用特定的电路符号表示；理想导线可画成直线、折线和曲线，其特点是导线上的任意点都可以看作等中位。



电路理论所研究的主要对象就是电路模型，其主要任务是研究电路的基本规律及其计算方法，并用电压、电流、功率等物理量进行表示，通常不涉及元件内部发生的物理过程。

## ► 练习与思考

1. 电路按其结构来分，可分为几个部分？都是什么？
2. 什么是模型化电路分析方法？
3. 电路理论所研究的主要对象是什么？其主要任务是什么？

## ► 1.2 电流、电压及其参考方向

电流和电压的方向，有实际方向和参考方向之分，分析电路时要加以区别。

### ► 1.2.1 电流及其参考方向

电荷的定向移动形成电流。单位时间内通过导体横截面的电荷量定义为电流强度，简称电流。以衡量电流的大小，用  $i(t)$  或  $i$  表示，即

$$i(t) = \frac{dq}{dt}$$

大小和方向随时间而变化的电流称为交流电流 (alternating current, 简称为 ac 或 AC)，一般用小写字母  $i(t)$  表示。大小和方向都不随时间而改变的电流，称为恒定电流或直流电流 (direct current, 简称为 dc 或 DC)，直流电流用大写字母  $I$  表示。

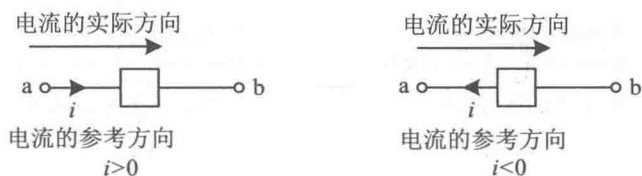
在国际单位制中，电荷的单位是 C (库仑)，电流的单位是 A (安培)，计量微小的电流时，可以以 mA (毫安) 和  $\mu\text{A}$  (微安) 为单位。

习惯上规定正电荷的移动方向为电流的方向 (实际方向)。电流的方向是客观存在的，但在分析较复杂的直流电路时，往往难以事先判断电流的实际方向。对于交流电流，其方向随时间而变，在电路图上无法用一个箭头来表示它的实际方向。为此，在分析和计算电路时，可先任意选定某一方向作为电流的方向，称为电流的参考方向或正方向。电流的参考方向的表示法有两种：一种用箭头表示，如图 1.5 (a) 所示；一种用带双下标的字母表示，如图 1.5 (b) 所示， $i_{ab}$  表示  $i$  的参考方向由 a 指向 b。所选的电流的参考方向并不一定与电流的实际方向一致。当电流的实际方向与参考方向一致时，电流为正值 (见图 1.6 (a))；当电流的实际方向与参考方向相反时，电流为负值 (见图 1.6 (b))。因此，在参考方向选定之后，电流的值才有正负之分。



(a) 用箭头表示 (b) 用带双下标的字母表示

图 1.5 电流的参考方向



(a) 实际方向与参考方向相同 (b) 实际方向与参考方向相反

图 1.6 电流实际方向与参考方向的关系

如图 1.7 所示电路, 电流  $I$  实际方向与参考方向相同,  $I=1\text{A}$ , 为正值; 电流  $I_1$  实际方向与参考方向相反,  $I_1=-1\text{A}$ , 为负值,  $I_1=-I$ 。

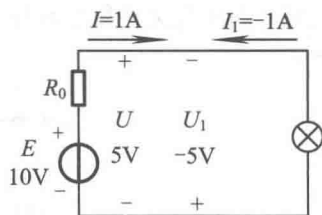


图 1.7 电流和电压参考方向

## 1.2.2 电压及其参考方向

电压是用来描述电场力对电荷做功能力的物理量, 如果电场力将单位正电荷  $dq$  从电场的高电位点  $a$  经过电路移动到低电位点  $b$  所做的功是  $dW$ , 则  $ab$  两点之间的电压为

$$u = \frac{dW}{dq} \quad (1.1)$$

大小和方向随时间而变化的电压称为交流电压 (alternating voltage), 用  $u(t)$  表示。大小和方向都不随时间而改变的电压, 称为恒定电压或直流电压 (direct voltage), 用大写字母  $U$  表示。

在国际单位制中, 功的单位是 J (焦耳), 电荷的单位是 C (库仑), 电压的单位是 V (伏特), 计量微小的电压时, 则以 mV (毫伏) 或  $\mu\text{V}$  (微伏) 为单位; 计量高电压时, 则以 kV (千伏) 为单位。

电压是个标量, 为了表示电场力对电荷做功的方向, 习惯上将高电位指向低电位的方向规定为电压的方向, 并称作电压的实际方向或实际极性。

与电流一样, 在分析和计算电路以前, 要先给电压任意选定一个方向, 并把这个方向称作电压的参考方向。图 1.8 为电压参考方向的 3 种表示方法, 图 1.8 (a) 用符号 “+” 表示参考高电位, 用符号 “-” 表示参考低电位; 图 1.8 (b) 用箭头 “ $\rightarrow$ ” 表示电位降落方向; 图 1.8 (c) 用带双下标的字母表示, 其中  $u_{ab}$  表示  $a$  点是参考高电位,  $b$  点是参考低电位。当实际方向与参考方向一致时, 电压为正值 (见图 1.9 (a)); 当电压的实际方向与参考方向相反时, 电压为负值 (见图 1.9 (b))。电动势的单位与电压相同。

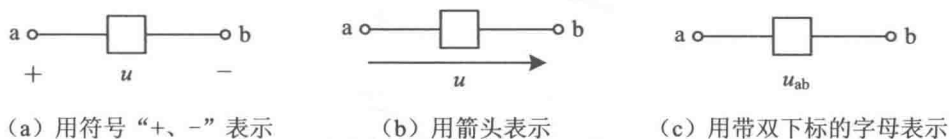


图 1.8 电压参考方向的表示方法