



普通高等教育“十二五”规划教材  
(电工电子课程群改革创新系列)

# 电工与电子技术基础 (第二版)

主 编 苑尚尊  
副主编 朱光平



中国水利水电出版社  
www.waterpub.com.cn

普通高等教育“十二五”规划教材  
(电工电子课程群改革创新系列)

# 电工与电子技术基础

## (第二版)

主 编 苑尚尊

副主编 朱光平



中国水利水电出版社  
www.waterpub.com.cn

## 内 容 提 要

本书是在作者根据多年的教学实践经验和电工与电子技术的最新发展对第一版教材的内容进行修改、增减而成的。本书仍分为“电路基础”、“模拟电子技术”、“数字电子技术”和“电机及变压器”四个模块。“电路基础”部分的主要内容有：直流电路、正弦交流电路、三相交流电路、安全用电常识等；“模拟电子技术”部分的主要内容有：常用半导体器件、基本放大电路、集成运算放大器、直流稳压电源等；“数字电子技术”部分的主要内容有：门电路及组合逻辑电路、触发器和时序逻辑电路等；“电机及变压器”部分的主要内容有：单相变压器、三相异步电动机、电气自动控制技术等。本书充分体现非电类专业的特点，配有大量的例题和习题，每节配有思考题，供学生复习和练习。

本书可作为应用型本科院校非电类专业“电工与电子技术”系列课程的教材，也可作为自学考试或相关工程技术人员的参考用书。

本书配有电子教案，读者可以从中国水利水电出版社网站和万水书苑免费下载，网址为：<http://www.waterpub.com.cn/softdown/>和 <http://www.wsbookshow.com>。

### 图书在版编目(CIP)数据

电工与电子技术基础 / 苑尚尊主编. — 2版. — 北京 : 中国水利水电出版社, 2014.8  
普通高等教育“十二五”规划教材  
ISBN 978-7-5170-2093-6

I. ①电… II. ①苑… III. ①电工技术—高等学校—教材②电子技术—高等学校—教材 IV. ①TM②TN

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第117966号

策划编辑：寇文杰 责任编辑：张玉玲 封面设计：李 佳

书 名	普通高等教育“十二五”规划教材(电工电子课程群改革创新系列) 电工与电子技术基础(第二版)
作 者	主 编 苑尚尊 副主编 朱光平
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: <a href="http://www.waterpub.com.cn">www.waterpub.com.cn</a> E-mail: <a href="mailto:mchannel@263.net">mchannel@263.net</a> (万水) <a href="mailto:sales@waterpub.com.cn">sales@waterpub.com.cn</a>
经 售	电话: (010) 68367658 (发行部)、82562819 (万水) 北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	北京万水电子信息有限公司
刷 印	北京蓝空印刷厂
规 格	170mm×227mm 16开本 27.75印张 520千字
版 次	2009年1月第1版 2009年1月第1次印刷 2014年8月第2版 2014年8月第1次印刷
印 数	0001—3000册
定 价	40.00元

凡购买我社图书，如有缺页、倒页、脱页的，本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

## 第二版前言

本书是作者根据多年的教学实践经验和电工与电子技术的最新发展对第一版教材的内容进行修改、增减而成的。

2014年4月，第一届产教融合发展战略国际论坛在驻马店市举行，论坛的主题是“建设中国特色应用技术大学”。推动引导一批本科高校向应用技术型高校转型是教育改革的重要内容，重庆科技学院在应用型本科转型与建设方面走在了前面。作为应用技术大学培养的学生与普通高校在工程实践能力上应有很大的区别，电工与电子技术系列课程应运而生，从人才培养的角度对电工技术和电子技术的要求差别很大，有的专业只有32学时，作为一门常识课，有的专业要求有相对较多的学时，所以如何适应应用型技术人才培养方案是我们需要认真思考的课题之一。

《电工与电子技术基础》（第二版）在保持原有教材特色的基础上，从以下几个方面进行了调整：

- 理论更具有实用性。
- 修改第一版书中的例题和习题，删减了部分难题。
- 第1章增加了一段电路的欧姆定律。
- 第2章增加了RLC串联电路的应用和日光灯电路的相关计算。
- 第3章删减了供配电常识。
- 第4章增加了LED发光二极管原理及参数。
- 第5章增加了二通道集成功放。
- 书中符号全部采用国标符号。

本次修订具体分工如下：苑尚尊修订第1章和附录，聂玲修订第2章，许弟建修订第3章，张锐修订第4章，李翠英修订第5章，吴明芳修订第6章，张俊林修订第7章，杨君玲修订第8章，石岩修订第9章，程岷沙修订第10章，刘玉成修订第11章，朱光平修订第12章。书中所有习题由朱光平负责解答和更换，苑尚尊对书稿进行了认真校对和统稿。

吴培刚老师对书稿进行了仔细审阅，并提出许多指导性意见和建议，在此表示衷心感谢。

由于编者水平有限，书中不妥之处在所难免，恳请广大读者和同行批评指正。

编者  
2014年5月

# 第一版前言

本书是根据普通高等院校非电类专业教学计划的培养目标，参照国家教委电工学课程教学指导委员会制定的“电工学”教学基本要求，结合石油、冶金两大行业的特点组织编写的。本书可以作为普通高等本科院校非电类专业的“电工与电子技术”课程的教材。

为适应人才培养目标的要求、教学特点和培养应用型人才的需要，本书注意精选内容，力求做到选材适当、内容先进；在基础理论方面以“必需、够用”为度；在应用技术方面紧密结合工程实际，突出实用性；在理论和概念的阐述上，力求准确详尽，便于理解，适于自学。

本书共分为“电路基础”、“模拟电子技术”、“数字电子技术”和“电机及变压器”四个模块。“电路基础”部分的主要内容有：直流电路、正弦交流电路、三相交流电路等；“模拟电子技术”部分的主要内容有：半导体器件、基本放大电路、集成运算放大电路、直流稳压电源等；“数字电子技术”部分的主要内容有：门电路及组合逻辑电路、触发器和时序逻辑电路等；“电机及变压器”部分的主要内容有：单相变压器、三相异步电动机及电气自动控制技术等。本书充分体现非电类专业的特点，配有大量的例题和习题，每节配有思考题，供学生复习和练习。

本书主要体现以下特色：

(1) 模块化结构。本书根据内容按四个模块进行编写，根据不同专业、不同要求、不同的课程学时，选择不同的模块进行组合，以解决“学时少与内容多的矛盾”。

(2) 精选内容。对于电工与电子技术的基本概念、基本理论和基本的分析计算方法等基础内容，本着少而精的原则，力求概念准确、清楚，阐述简明扼要，理论推导从简，重点突出方法的应用。

(3) 推陈出新。删减了细节问题的定量分析，加强了器件外部特性的宏观分析。如删减了电子器件的内部结构、分立元件电路的定量分析计算，而重点讲解器件、电路和系统的外特性。引入相关新技术、新工艺等先进内容，保持与世界电工与电子技术的发展同步。

(4) 突出应用。本书所选实例具有一定的实用价值，通过典型的应用实例，将电工与电子技术应用到生产和日常生活中，解决了“学习的内容有些没有用，

有用的内容有些没有学”这一不正常现象。

(5) 采用标准化。本书采用通用的图形符号、名词和术语体系。力求把现行的国家标准规范和 IEC 有关标准有机地结合到相应章节之中, 帮助学生在过程中了解电工与电子技术领域的标准及应用, 学会查阅这些标准, 为继续学习与本专业有关的工程技术、从事与本专业有关的科学研究等打下一定的基础。

本书由苑尚尊老师负责全书的策划、组织、统稿和定稿, 并编写了第 2 章和第 9 章。参加本书编写的还有: 聂玲编写第 1 章, 许弟建编写第 3 章, 张锐编写第 4 章, 李翠英编写第 5 章, 吴明芳编写第 6 章, 蔡绍编写第 7 章, 杨君玲编写第 8 章, 程岷沙编写第 10 章, 宋乐鹏和刘玉成编写第 11 章, 张俊林编写第 12 章。参加本书文字录入和绘制电路图工作的有李世贵、王远华等老师。

本书由吴培刚老师主审, 他对书稿进行了仔细的审阅, 并提出许多指导性的意见和建议, 在此表示衷心的感谢。另外, 秦治中教授也对本书作了详细的审阅。

由于编者水平有限, 不妥之处在所难免, 恳请读者和同行老师提出批评和改进意见, 以便再版时修改提高。

编者  
2008 年 12 月

# 目 录

第二版前言

第一版前言

## 第一模块 电路基础

第1章 直流电路及其分析方法	1
1.1 电路的基本概念	1
1.1.1 电路的组成与作用	1
1.1.2 电路模型	2
1.1.3 电路的主要物理量	3
1.1.4 电路的基本元件	6
1.2 电路基础知识	9
1.2.1 欧姆定律	9
1.2.2 电阻串并联	11
1.3 电路的工作状态	14
1.3.1 开路状态	14
1.3.2 短路状态	15
1.3.3 有载工作状态	15
1.3.4 电气设备的额定值	16
1.4 基尔霍夫定律	17
1.4.1 基尔霍夫电流定律	18
1.4.2 基尔霍夫电压定律	19
1.4.3 基尔霍夫定律的应用—— 支路电流法	21
1.5 电压源、电流源及其等效变换	25
1.5.1 电压源	25
1.5.2 电流源	26
1.5.3 电压源与电流源的等效变换	27
1.6 电路的分析方法	30
1.6.1 叠加原理	30
1.6.2 戴维南定理	32
1.7 电路中电位的计算	36
*1.8 电路中的过渡过程	39
1.8.1 储能元件和换路定则	39
1.8.2 $RC$ 电路的过渡过程	41
1.8.3 $RL$ 电路的过渡过程	45
习题一	46
第2章 正弦交流电路	54
2.1 正弦交流电的基本概念	54
2.1.1 周期、频率和角频率	55
2.1.2 最大值和有效值	56
2.1.3 相位、初相位和相位差	57
2.2 正弦量的相量表示法	58
2.2.1 复数及其运算	58
2.2.2 正弦量的相量表示法	60
2.2.3 同频率正弦量的求和运算	62
2.3 单一参数的正弦交流电路	64
2.3.1 电阻元件的交流电路	64
2.3.2 电感元件的交流电路	66
2.3.3 电容元件的交流电路	68
2.4 $R$ 、 $L$ 、 $C$ 串联的正弦交流电路	72
2.4.1 $RLC$ 电路的电压、电流关系	73
2.4.2 $RLC$ 串联电路的性质	74
2.4.3 $RLC$ 串联电路的功率关系	76
2.5 阻抗的串联与并联	81
2.5.1 阻抗的串联	82
2.5.2 阻抗的并联	83

2.6 功率因数的提高	87	4.4.3 特性曲线	132
2.6.1 提高功率因数的意义	87	4.4.4 主要参数及应用	134
2.6.2 提高功率因数的方法	88	4.5 光电器件	137
2.6.3 补偿电容量的计算	89	4.5.1 LED 发光二极管	137
习题二	91	4.5.2 光电二极管	138
<b>第3章 三相交流电路</b>	97	4.5.3 光电晶体管	139
3.1 三相交流电源	97	习题四	140
3.1.1 三相电动势的产生	97	<b>第5章 基本放大电路</b>	144
3.1.2 三相电源的星形连接	98	5.1 共发射极放大电路	144
3.2 负载星形连接的三相交流电路	100	5.1.1 共射放大电路的组成	144
3.3 负载三角形连接的三相交流电路	105	5.1.2 基本放大电路的静态分析	145
3.4 三相交流电路的功率	106	5.1.3 基本放大电路的动态分析	148
*3.5 安全用电	109	5.2 静态工作点的稳定——分压式 偏置电路	155
3.5.1 安全用电常识	109	5.2.1 温度对静态工作点的影响	155
3.5.2 安全用电的防范	111	5.2.2 静态分析	156
习题三	112	5.2.3 动态分析	157
<b>第二模块 模拟电子技术</b>		5.3 共集电极放大电路	159
<b>第4章 常用半导体器件</b>	116	5.3.1 静态分析	159
4.1 半导体的基本知识	116	5.3.2 动态分析	160
4.1.1 半导体的分类	116	5.3.3 共集电极放大电路的特点 及应用	161
4.1.2 N型半导体和P型半导体	118	5.4 阻容耦合多级放大电路	162
4.1.3 PN结及其单向导电性	119	5.5 互补对称功率放大电路	165
4.2 半导体二极管	122	5.5.1 对功率放大电路的基本要求	165
4.2.1 基本结构	122	5.5.2 互补对称功率放大电路	166
4.2.2 伏安特性	122	5.5.3 集成功率放大电路	169
4.2.3 主要参数	124	*5.6 场效应晶体管及放大电路	170
4.2.4 二极管的应用	125	5.6.1 绝缘栅型场效应管	171
4.3 稳压管	126	5.6.2 共源极放大电路	175
4.3.1 伏安特性	127	5.6.3 源极输出器	178
4.3.2 主要参数	128	习题五	179
4.4 半导体三极管	129	<b>第6章 集成运算放大器</b>	185
4.4.1 基本结构	129	6.1 集成运算放大器简介	185
4.4.2 工作原理	130		



6.1.1	集成运算放大器的组成	185	第7章	直流稳压电源	225
6.1.2	图形符号及管脚	188	7.1	单相整流电路	225
6.1.3	主要参数	189	7.1.1	单相半波整流电路	226
6.1.4	理想运算放大器的电压 传输特性	190	7.1.2	单相桥式整流电路	227
6.1.5	理想运算放大器的理想模型	191	7.2	滤波电路	231
6.1.6	理想运算放大器的分析依据	192	7.2.1	电容滤波	231
6.2	放大电路中的负反馈	194	7.2.2	电感滤波	233
6.2.1	反馈的基本概念	194	7.2.3	复式滤波	233
6.2.2	正反馈与负反馈的判断	194	7.3	直流稳压电路	234
6.2.3	负反馈的类型	195	7.3.1	稳压管稳压电路	234
6.2.4	负反馈对放大电路工作 的影响	199	7.3.2	串联型稳压电路	236
6.3	集成运放在信号运算方面 的应用	202	7.3.3	集成稳压电源	237
6.3.1	反相比例运算电路	202	*7.4	电力电子技术基础	239
6.3.2	同相比例运算电路	203	7.4.1	普通晶闸管	239
6.3.3	加法运算	205	7.4.2	双向晶闸管	242
6.3.4	减法运算	206	7.4.3	可关断晶闸管	243
6.3.5	积分运算	208	7.4.4	可控整流电路	243
6.3.6	微分运算	208	7.4.5	绝缘双极型晶闸管	245
6.4	集成运放在信号处理方面 的应用	209	习题七		247
6.4.1	有源滤波器	209	<b>第三模块 数字电子技术</b>		
6.4.2	电压比较器	212	第8章	组合逻辑电路	249
6.5	集成运放在波形产生方面 的应用	214	8.1	门电路	249
6.5.1	RC 正弦波振荡电路	214	8.1.1	基本门电路	249
6.5.2	矩形波发生器	217	8.1.2	复合门电路	253
6.6	集成运放在使用时的注意事项	218	8.1.3	门电路的接口	259
6.6.1	合理选用集成运放型号	218	8.2	组合逻辑电路	259
6.6.2	消振调零	218	8.2.1	逻辑代数及应用	260
6.6.3	保护	218	8.2.2	组合逻辑电路的分析	261
习题六		219	8.2.3	组合逻辑电路的设计	263
			8.3	加法器	264
			8.3.1	半加器	265
			8.3.2	全加器	265
			8.4	编码器	267

8.4.1	编码	267	10.1	磁路的基本概念	326
8.4.2	二—十进制编码器	268	10.1.1	磁路的基本物理量	326
8.4.3	优先编码器	270	10.1.2	铁磁性材料的磁性能	328
8.5	译码器和数字显示	271	10.1.3	磁路的欧姆定律	330
8.5.1	二进制译码器	271	10.2	交流铁心线圈	332
8.5.2	二—十进制显示译码器	274	10.2.1	直流铁心线圈	332
习题八		277	10.2.2	交流铁心线圈	332
<b>第9章</b>	<b>时序逻辑电路</b>	281	10.3	变压器的基本结构和工作原理	335
9.1	触发器	281	10.3.1	铁心与绕组	335
9.1.1	RS 触发器	281	10.3.2	空载运行	336
9.1.2	主从 JK 触发器	284	10.3.3	负载运行	338
9.1.3	D 触发器	288	10.3.4	阻抗变换	339
9.2	寄存器	290	10.4	变压器的运行特性和额定值	341
9.2.1	数码寄存器	290	10.4.1	变压器的外特性和电压调整率	341
9.2.2	移位寄存器	291	10.4.2	变压器的额定值	342
9.2.3	集成寄存器	292	10.4.3	变压器的损耗与效率	342
9.3	计数器	293	10.5	特殊变压器及应用	343
9.3.1	二进制加法计数器	293	10.5.1	自耦变压器	343
9.3.2	十进制计数器	295	10.5.2	仪用互感器	345
9.3.3	集成计数器	297	10.5.3	电焊变压器	346
9.4	555 定时器	303	10.5.4	变压器绕组的同极性端	347
9.4.1	555 定时器	303	习题十		349
9.4.2	单稳态触发器	305	<b>第11章</b>	<b>交流异步电动机</b>	351
9.4.3	多谐振荡器	306	11.1	三相异步电动机的构造和转动原理	351
9.5	应用举例	307	11.1.1	三相异步电动机的结构	351
9.5.1	24 小时数字钟	307	11.1.2	三相异步电动机的工作原理	354
9.5.2	四人抢答电路	308	11.1.3	三相异步电动机的转动原理	356
9.6	数—模和模—数转换	309	11.1.4	三相异步电动机的转差率	357
9.6.1	数—模转换器	310	11.2	三相异步电动机的电磁转矩与机械特性	358
9.6.2	模—数转换器	314			
习题九		318			
<b>第四模块 电机及变压器</b>					
<b>第10章</b>	<b>磁路与变压器</b>	326			

11.2.1	三相异步电动机的电路 分析 .....	358	12.2.2	三相异步电动机的起停 控制 .....	399
11.2.2	三相异步电动机的电磁 转矩 .....	360	12.2.3	三相异步电动机的正反转 控制 .....	400
11.2.3	三相异步电动机的机械 特性 .....	362	12.2.4	三相异步电动机的正反转 行程控制 .....	403
11.2.4	电动机的稳定运行 .....	364	12.2.5	三相异步电动机的时间 控制 .....	404
11.3	三相异步电动机的铭牌和 技术数据 .....	366	12.3	控制线路的绘制原则及识图 读图常识 .....	405
11.4	三相异步电动机的起动 .....	370	12.3.1	常用电气图形符号及文字 符号的国家标准 .....	405
11.4.1	三相异步电动机的起动 性能 .....	370	12.3.2	电气原理图的绘制原则 .....	407
11.4.2	三相异步电动机的起动 方法 .....	370	12.3.3	图面区域的划分 .....	409
11.5	三相异步电动机的调速 .....	373	12.3.4	符号位置的索引 .....	409
11.5.1	变频调速 .....	374	12.3.5	识图读图原则 .....	410
11.5.2	变极调速 .....	374	12.4	可编程控制器 .....	410
11.5.3	变转差率调速 .....	374	12.4.1	可编程控制器概述 .....	410
11.6	三相异步电动机的制动 .....	375	12.4.2	可编程控制器的工作原理 .....	412
11.6.1	能耗制动 .....	375	习题十二 .....		416
11.6.2	反接制动 .....	375	附录一	电阻、电位器的标称值系列 .....	417
11.7	单相异步电动机 .....	376	附录二	色标的基本色码及意义 .....	418
11.8	三相异步电动机的选择 .....	378	附录三	部分 Y 系列三相异步 电动机的参数 .....	419
11.8.1	容量的选择 .....	379	附录四	半导体分立器件型号命名方法 .....	420
11.8.2	种类和型式的选择 .....	379	附录五	常用半导体器件的参数 .....	421
11.8.3	电压和转速的选择 .....	380	附录六	半导体集成器件型号命名方法 .....	423
习题十一 .....		380	附录七	部分集成运放的主要参数 .....	424
第 12 章	电气自动控制技术 .....	382	附录八	常用 TTL 电路的主要参数 .....	425
12.1	常用低压控制电器 .....	382	附录九	部分数字集成电路外引线 排列图 .....	426
12.1.1	手动电器 .....	382	附录十	用计算器进行复数的运算 .....	432
12.1.2	自动电器 .....	389	参考文献 .....		434
12.2	电气自动控制线路 .....	398			
12.2.1	三相异步电动机的点动 控制 .....	398			

# 第一模块 电路基础

## 第 1 章 直流电路及其分析方法

本章主要介绍电路的组成与作用、电路的主要物理量和电路基本元件，引入电流、电压的参考方向以及电路中电位的基本概念；运用欧姆定律、基尔霍夫定律等电路基本定律对直流电路进行分析计算；介绍直流电路的基本定律和原理，电压源和电流源及其等效变换，要求学生能分析一般的复杂电路；最后介绍电路中的过渡过程。

### 1.1 电路的基本概念

根据电路中电源种类的不同，电路可分为直流电路和交流电路。直流电路由直流电源供电，其电压、电流的大小和方向不随时间变化；交流电路由交流电源供电，其电压、电流的大小和方向都随时间变化。本章将介绍直流电路的基本概念、基本定律和基本分析方法，第 2 章介绍单相交流电路，第 3 章介绍三相交流电路。

#### 1.1.1 电路的组成与作用

电路就是电流流过的闭合路径。它是许多电器元件或电器设备为实现能量的传输和转换，或为了实现信息的传递和处理而连接成的整体。在现代化生产和生活中，电路随处可见，例如电网系统、各种电器控制系统、收音机及电视机等家用电器电路。总之，实际电路都是由一些最基本的部件组成的。常见的手电筒电路就是一个最简单的电路，如图 1.1 (a) 所示。它的组成体现了所有电路的共性。组成电路的最基本部件是电源、负载和中间环节。

(1) 电源：提供电能或发出电信号的设备称为电源。它是把其他形式的能量转换成电能的设备。例如发电机、话筒等。

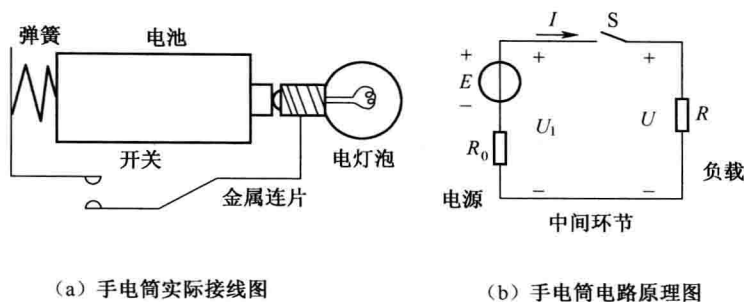


图 1.1 实际电路与电路模型

(2) 负载：用电的设备称为负载。它将电能转换成机械能、热能或光能等其他形式的能量。例如电动机、电炉、电灯等。

(3) 中间环节：它是连接电源和负载的桥梁，起传输和分配电能或者传递和处理信号的作用。例如电网输电线路、扩音机系统等。

### 1.1.2 电路模型

为了便于对实际电路进行分析和数学描述，将实际元件理想化，即在一定条件下突出其主要的电磁性质，忽略其次要因素，把它近似地看作理想电路元件。由一些理想电路元件组成的电路就是实际电路的电路模型，简称电路。例如常用的手电筒，其实际电路元件有电池、灯泡、开关和筒体，其电路模型如图 1.1 (b) 所示。

灯泡是电阻元件，参数为电阻  $R$ ；电池为电源，其参数是电动势  $E$  和内电阻（简称内阻） $R_0$ ；筒体是连接电池与灯泡的中间环节（包括开关），其电阻忽略不计，认为是无电阻的理想导体。

电路模型中常用的电路元件有：电阻元件、电感元件、电容元件、电压源和电流源，其符号如图 1.2 所示。

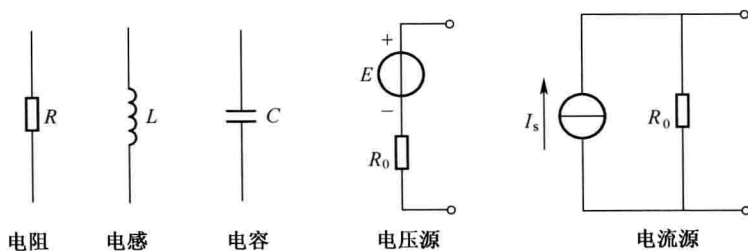


图 1.2 电路模型中的常用电路元件符号

### 1.1.3 电路的主要物理量

#### 1. 电流

电荷在电场力作用下有规则地运动形成电流。把单位时间内通过某一导体横截面的电荷量定义为电流强度（简称电流），用  $I$  表示。它是衡量电流强弱的基本物理量。

电流的单位是安培（A），还有毫安（mA）和微安（ $\mu\text{A}$ ），它们的关系是

$$1\text{A}=10^3\text{mA}=10^6\mu\text{A}$$

习惯上，把正电荷的运动方向作为电流的实际方向，并在电路中用箭头标注。但在分析一些较复杂的电路时，难以确定电流的实际方向。为此，在电路分析时常任意假定某个方向作为电流的流向。这个假定的方向称为参考方向（也叫正方向）。在电路中标出的电流方向都是参考方向。

电流的参考方向可能与实际方向不一致。当电流的实际方向与参考方向一致时，其值为正；当实际方向与参考方向相反时，其值为负，如图 1.3 所示。只有在参考方向选定以后，电流才有正负之分。

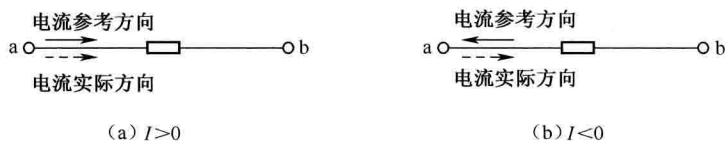


图 1.3 电流的参考方向与实际方向的关系

#### 2. 电压

如上所述，电荷在电场力作用下运动形成电流，在这个过程中，电场力推动电荷运动做功。为了表示电场力对电荷做功的本领，引入了“电压”这个物理量，用  $U$  表示。在数值上电压就是电场力把单位正电荷从一点移到另一点所做的功。

电压的单位是伏特（V），还有千伏（kV）、毫伏（mV）和微伏（ $\mu\text{V}$ ），它们的关系是

$$1\text{V}=10^{-3}\text{kV}=10^3\text{mV}=10^6\mu\text{V}$$

有时还用电位这个概念。它是表示电场中某一点性质的物理量，而且是相对于确定的参考点来说的。电场中某点的电位在数值上等于电场力将单位正电荷自该点沿任意路径移到参考点所做的功。A 点电位用  $U_A$  表示。将电位与电压进行比较，可以得出电场中某点的电位就是该点到参考点之间的电压。电位的单位也是伏特（V），且规定参考点的电位为零伏特，所以参考点也叫零电位点。

在同一个电路中，当选定不同的参考点时，同一点的电位是不同的。参考点一经选定，各点的电位就是唯一确定的值。没有选定电路的参考点，讲某点的电位是无意义的。

电压的实际方向就是电场的方向，也就是正电荷的移动方向，是由高电位点指向低电位点，沿着电压的方向，电位是逐点降低的。正电荷沿着这个方向运动时，将失去电能，并转换成其他形式的能量。

在进行电路分析时，如果电压的实际方向难以确定，也可任意假定某个方向作为电压的参考方向。这个参考方向可能与电压的实际方向不一致，当电压的实际方向与参考方向一致时，其值为正；当电压的实际方向与参考方向相反时，其值为负，如图 1.4 所示。

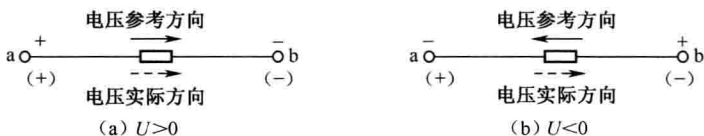


图 1.4 电压的参考方向与实际方向的关系

电压的参考方向可以用三种方法来表示：

- (1) 用“+”、“-”符号分别表示电压参考方向的高电位端和低电位端。
- (2) 用箭头的指向表示，它由电压参考方向的高电位端指向低电位端。
- (3) 用双下标字母表示。如用  $U_{ab}$  表示电压的参考方向，则第一个字母表示高电位端，第二个字母表示低电位端。参考方向是从 a 指向 b。

在电路分析中，对于无源元件内部常取电压、电流的参考方向相同，称为关联参考方向，即只给一个方向；对于有源元件则常取电压、电流的参考方向相反，称为非关联参考方向。

### 3. 电动势

电动势是表示电源性质的物理量。电动势常用  $E$  表示，其单位也是伏特 (V)。

电源的  $E$  在数值上等于电源力把单位正电荷从低电位端经电源内部移到高电位端所做的功。它的实际方向是在电源内部由低电位端指向高电位端，是电位升高的方向。电动势和电流、电压一样也应引入参考方向的概念。在电路中，电源电动势参考方向的标注同电压一样，有极性标注、箭头标注和双下标标注。如参考方向与其实际方向一致，其数值为正，否则为负值。通常情况下电源的电动势常用端电压来表示。

#### 4. 电功率与电能

使用电路的目的是为了进行电能与其他能量之间的转换，所以在电路分析与计算中还常用到电功与电功率这两个物理量。

单位时间内电场力所做的功是电功率，用  $P$  表示。在 SI 单位制中功率的单位是瓦特 (W)，简称瓦。也可用千瓦 (kW) 或毫瓦 (mW) 作单位，关系是

$$1\text{kW}=10^3\text{W} \quad 1\text{W}=10^3\text{mW}$$

由于电压和电流的方向可以任意选取，所以电功率会出现正负。当电压、电流参考方向一致时， $P=UI>0$  表示为吸收功率（负载）， $P=UI<0$  表示为产生功率（电源）；当电压、电流参考方向不一致时， $P=UI>0$  表示为产生功率（电源）， $P=UI<0$  表示为吸收功率（负载）。

除了功率之外，有时还要计算一段时间内电路消耗（或产生）的电能，用  $W$  表示。

$$W=Pt$$

工程上，电能的单位经常用千瓦时 (kWh) 表示。千瓦时又称为“度”。平时所讲的 1 度电，就是额定功率为 1kW 的用电设备在额定状态下工作 1 小时所消耗的电能。

#### 5. 标注参考方向应注意的问题

(1) 电压和电流的方向是客观存在的。参考方向是人为规定的方向，在分析电路时需要先规定参考方向，然后根据这个规定的参考方向列写方程式。

(2) 参考方向一经确定，在整个分析计算过程中必须以此为准，不能再改变。

(3) 不标明参考方向，说某个电压或电流的值为正、为负没有意义。

(4) 参考方向可以任意选取而不影响结果。

(5) 电压和电流的参考方向可以分别单独选取。但为了分析方便，同一段电路的电流和电压的参考方向要尽量一致（电流的方向从电压的“+”极性端流入，从电压的“-”极性端流出），即电压、电流参考方向取相同方向，又称相关方向或关联方向；相反时，又称非相关方向或非关联方向。

【例 1.1】图 1.5 (a) 中  $U=8\text{V}$ ，图 1.5 (b) 中  $U=-6\text{V}$ ，试分别比较 a、b 两点的电位高低。

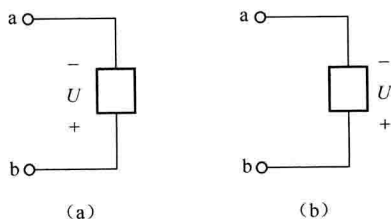


图 1.5 例 1.1 的图



【解】图 1.5 (a) 中的参考方向, a 点为负, b 点为正, 因为  $U=8\text{V}>0$ , 所以电压的实际方向与参考方向一致, 则 b 点电位高于 a 点电位。

图 1.5 (b) 中的参考方向, a 点为负, b 点为正, 因为  $U=-6\text{V}<0$ , 所以电压的实际方向与参考方向相反, 则 a 点电位高于 b 点电位。

【例 1.2】电路如图 1.6 所示,  $U=12\text{V}$ ,  $I=-4\text{A}$ , 试计算元件的电功率。

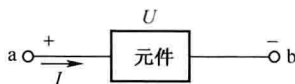


图 1.6 例 1.2 的图

【解】由电路可知, 此题的电压和电流为关联方向, 有

$$P = UI = 12 \times (-4) = -48 \text{ (W)}$$

这说明元件产生功率, 而不是吸收功率, 相当于电源。

### 1.1.4 电路的基本元件

理想元件是组成电路模型的基本单元, 元件上电压与电流之间的关系又称为元件的伏安特性, 它反映了元件的性质。电路元件按能量特性, 可分为无源元件和有源元件; 按与外部连接的数目, 可分为二端元件、三端元件、四端元件等; 按伏安特性, 可分为线性元件和非线性元件。在此仅讨论电阻元件、电感元件和电容元件的基本知识以及它们的伏安特性。

#### 1. 电阻元件

电阻元件是一种最常见的二端电路元件。它的特性可以用元件两端的电压  $U$  和通过元件的电流  $I$  的关系表示, 这种关系称为电压电流特性。由于电压的单位是伏特, 电流的单位是安培, 故又称伏安特性。如果在  $u-i$  直角坐标平面上作出表示这一关系的曲线, 则称此曲线为伏安特性曲线。根据电阻元件性质的不同, 分为线性电阻和非线性电阻。线性电阻元件的伏安特性曲线是通过坐标原点的直线, 如图 1.7 (a) 所示。伏安特性曲线不是直线的电阻元件称为非线性电阻。除另有说明外, 一般电阻都是线性电阻。电路图形符号如图 1.7 (b) 所示, 电压和电流参考方向一致时, 线性电阻元件的伏安特性表达式为

$$U = IR \quad (1.1)$$

式中  $R$  为电阻元件的电阻值, 称为电阻, 它是表示电阻元件特性的参数。

电阻的 SI 单位是  $\Omega$  (欧姆), 较大的单位有千欧 ( $\text{k}\Omega$ ) 和兆欧 ( $\text{M}\Omega$ ), 其换算关系是