



“十三五”普通高等教育本科规划教材  
高等院校电气信息类专业“互联网+”创新规划教材

# 电路与模拟电子技术

(第2版)

主编 | 张绪光



北京大学出版社  
PEKING UNIVERSITY PRESS

“十三五”普通高等教育本科规划教材  
高等院校电气信息类专业“互联网+”创新规划教材

# 电路与模拟电子技术

(第2版)

主 编 张绪光  
副主编 盛 莉  
参 编 王桂娟 李艳红



北京大学出版社  
PEKING UNIVERSITY PRESS

## 内 容 简 介

本书是高等院校电气信息类专业“互联网+”创新规划教材。主要内容包括：电路的基本概念与基本定律、电路的基本分析方法、一阶线性电路的时域分析、正弦交流电路、三相交流电路、磁路与变压器、常用半导体器件、基本放大电路、功率放大电路、集成运算放大器、电子电路中的反馈、直流稳压电源。

本书集“图文、动画和视频”于一体，编写风格新颖、活泼，引例准确、有趣，内容充实、实用。

本书可作为本科院校电气信息类专业和高职高专相关专业的教科书，也可供相关技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

电路与模拟电子技术/张绪光主编. —2版. —北京: 北京大学出版社, 2018.7

(高等院校电气信息类专业“互联网+”创新规划教材)

ISBN 978-7-301-29654-7

I. ①电… II. ①张… III. ①电路理论—高等学校—教材 ②模拟电路—电子技术—高等学校—教材 IV. ①TM13 ②TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 138683 号

- 书 名** 电路与模拟电子技术 (第 2 版)  
DIANLU YU MONI DIANZI JISHU
- 著作责任者** 张绪光 主编
- 责任编辑** 程志强
- 数字编辑** 刘 蓉
- 标准书号** ISBN 978-7-301-29654-7
- 出版发行** 北京大学出版社
- 地 址** 北京市海淀区成府路 205 号 100871
- 网 址** <http://www.pup.cn> 新浪微博: @北京大学出版社
- 电子信箱** pup\_6@163.com
- 电 话** 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667
- 印 刷 者** 北京大学印刷厂
- 经 销 者** 新华书店
- 787 毫米 × 1092 毫米 16 开本 22 印张 504 千字  
2010 年 3 月第 1 版  
2018 年 7 月第 2 版 2018 年 7 月第 1 次印刷 (总第 6 次印刷)  
总印数 12001—15000
- 定 价** 53.00 元

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

举报电话：010-62752024 电子信箱：fd@pup.pku.edu.cn

图书如有印装质量问题，请与出版部联系，电话：010-62756370

## 第2版前言

“电路与模拟电子技术”是电气信息类专业非常重要的技术基础课程。电路与模拟电子技术发展迅速，应用十分广泛，在电气信息类专业中占十分重要的地位。

传统的《电路与模拟电子技术》教材所涉及的数学知识和物理知识较多，理论知识深奥、抽象、难度大，不好掌握，直接影响了学生学习本门课程积极性，制约了学生对知识的综合应用能力及创新意识的提高，因而在不少读者中出现了“望书生畏”的不良现象。

随着科学技术的迅猛发展，移动互联网几乎融入每个人的生活，智能手机的使用已经得到了普及，因此，考虑到对创新型应用人才培养的需求，编者结合互联网技术的应用，组织编写了“互联网+”《电路与模拟电子技术（第2版）》。

本书第2版集“图文、动画和微课视频”于一体，力求做到集“知识性、先进性、实用性和趣味性”于一体，尽可能地避免烦琐而枯燥的公式推导，注重引导并启发读者理解、掌握电路的基本概念、基本理论和基本的分析方法，注重培养读者的工程实践应用能力，尽可能地做到好懂易学。

本书第2版在每章中，均以“教学目标与要求”“引例”“特别提示”“小结”“知识链接”为主线进行编写，在必要之处，嵌入二维码素材，以供学生随时在线学习。

本书第2版具有如下特色。

- 好懂易学，读者易于学习掌握。
- 引例能够激发读者的学习兴趣。
- 易于教师引导和教学。
- 配有实用性和趣味性的习题，易于培养读者的工程实践能力和创新能力。
- 根据关键知识点设计出若干套自测试题和测试题（可通过扫描二维码获取下载地址和登录密码），供读者自我测试之用，以检验学习的效果。
- 根据教学内容的重点和难点，嵌入了图文、动画、视频等多媒体信息资源，以供读者通过智能手机随时在线学习。
- 为便于教师使用，配有完整而系统的教学大纲、教学计划及课件等教辅材料。

本书第2版包括电路和模拟电子技术两部分内容，由齐鲁工业大学（山东省科学院）的张绪光担任主编，盛莉担任副主编。张绪光以其多年一线教学实践经验对本书第1版进行了全面修订，使教材内容能够满足当前教学的需要。盛莉主要负责第1章、第2章和第4章的部分内容的编写。书中二维码素材（包括图文、Flash动画、自测试题、测试题）由张绪光设计、编辑、制作，盛莉主要负责微课视频的录制。全书由张绪光审核定稿。山东建筑大学的王桂娟和李艳红老师分别参与了第3章和第12章全部内容以及第5章和第10章部分内容的编写；齐鲁工业大学（山东省科学院）的臧家义参加了第6章部分内容

的编写。在本书的编写过程中,还得到了许多在教学和科研方面做出突出贡献的老师以及北京大学出版社有关专家的关心和帮助,在此一并表示衷心的感谢!

由于编者水平有限,不妥之处在所难免,恳切希望使用本书的各位读者批评指正。

编者

2018年3月



【资源索引】



# 第 1 版前言

“电路与模拟电子技术”是电气信息类专业非常重要的技术基础课程。电路与模拟电子技术发展迅速，应用十分广泛，现代一切新的科学技术无不与电有着密切的关系，尤其是计算机技术的迅猛发展和“电路与模拟电子技术”的发展更为密不可分。然而，传统的电路与模拟电子技术课程所涉及的数学知识和物理知识较多，深奥的理论知识抽象、难度大，不好掌握，直接制约了学生学习本门课程积极性以及对知识的综合应用能力和创新意识的提高，因而在不少读者中出现了“望书生畏”“欺软怕硬”的不良现象。对于高校中专业课程的教学，其教材内容更需要不断地更新，随时添加最新的科研成果，紧扣时代脉搏，将最新科学知识及时传输给学生，使学生一直站在科学技术最前沿。目前创新型、适用性的教材可谓寥寥无几，很多教材都是以叙述基本的科学原理为主，而较少考虑典型的科学事实和实例。因此，考虑到对创新型应用人才培养的要求，编者结合多年的教学实践，组织有经验的教师编写了这本创新型教材——《电路与模拟电子技术》。本书包括电路和模拟电子技术两部分内容，编写时力求集“知识性、先进性、实用性和趣味性”于一体，尽可能地避免烦琐而枯燥的公式推导，注重引导和启发读者理解和掌握电路的基本概念、基本理论和基本分析方法，注重培养读者的工程实践应用能力，尽可能地做到好懂易学。

本书具有如下特色。

- 好懂易学，读者易于学习掌握。
- 引例具有趣味性，能够激发读者的学习兴趣。
- 易于教师引导和教学。
- 配有实用性和趣味性的习题，易于培养读者的工程实践能力和创新能力。
- 内容组织遵循从实践中来、到实践中去的认识规律，做到了由实例引入、提出问题，再进行理论叙述，最后通过具有实用性、趣味性的习题巩固所学的理论知识。

教材中带“\*”的内容为用于开拓眼界的选学、选答部分。

本书由齐鲁工业大学的张绪光、刘在娥、盛莉和臧家义以及山东建筑大学的王桂娟和李艳红等老师共同编写完成，是两所大学老师集体智慧的结晶。本书由张绪光和刘在娥担任主编。具体参编人员及章节分工如下：张绪光(第7章、第8章、第9章、第11章)、盛莉(第1章、第2章、第4章)、王桂娟(第3章、第12章)、李艳红(第5章、第10章)、臧家义(第6章)。全书由张绪光、刘在娥审核定稿。

在本书的编写过程中，参考了国内外许多教材的优秀成果，同时得到了北京大学出版社的专家和老师的帮助，编者在此表示衷心的感谢！

由于编者水平有限，书中不妥之处在所难免，恳切希望广大师生和其他读者批评指正。

编者

2009年5月

# 目 录

## 第 1 章 电路的基本概念与基本定律 … 1

- 1.1 电路的组成和作用 …… 1
- 1.2 电路的基本物理量 …… 2
  - 1.2.1 电流 …… 2
  - 1.2.2 电压 …… 3
  - 1.2.3 电动势 …… 3
  - 1.2.4 电能 …… 3
  - 1.2.5 电功率 …… 4
- 1.3 电路的状态及特点 …… 5
  - 1.3.1 短路 …… 5
  - 1.3.2 开路 …… 5
  - 1.3.3 通路 …… 6
- 1.4 电压和电流的参考方向 …… 7
  - 1.4.1 电压的参考方向 …… 7
  - 1.4.2 电流的参考方向 …… 7
  - 1.4.3 关联参考方向 …… 7
  - 1.4.4 电源与负载的判断 …… 8
- 1.5 欧姆定律 …… 9
- 1.6 基尔霍夫定律 …… 10
  - 1.6.1 基尔霍夫电流定律 …… 10
  - 1.6.2 基尔霍夫电压定律 …… 11
- 1.7 电路中电位的概念及其计算 …… 13
- 小结 …… 15
- 习题 …… 16

## 第 2 章 电路的基本分析方法 …… 21

- 2.1 电源等效变换 …… 21
  - 2.1.1 电压源和电流源 …… 21
  - 2.1.2 电压源和电流源的等效变换 …… 23
- 2.2 支路电流法 …… 25
- 2.3 网孔电流法 …… 26
- 2.4 节点电压法 …… 28

- 2.5 叠加定理 …… 30
- 2.6 等效电源定理 …… 32
  - 2.6.1 戴维南定理 …… 33
  - 2.6.2 诺顿定理 …… 34
  - 2.6.3 最大功率传输定理 …… 35
- \*2.7 受控电源 …… 37
- 小结 …… 38
- 习题 …… 39

## 第 3 章 一阶线性电路的时域分析 …… 45

- 3.1 电阻元件、电感元件与电容元件 …… 45
  - 3.1.1 电阻元件 …… 46
  - 3.1.2 电感元件 …… 46
  - 3.1.3 电容元件 …… 47
- 3.2 换路与换路定律 …… 48
  - 3.2.1 过渡过程 …… 48
  - 3.2.2 换路定律 …… 49
- 3.3  $RC$  电路的响应 …… 51
  - 3.3.1  $RC$  电路的零输入响应 …… 51
  - 3.3.2  $RC$  电路的零状态响应 …… 52
  - 3.3.3  $RC$  电路的全响应 …… 54
- 3.4 一阶  $RC$  线性电路时域分析的三要素法 …… 56
- 3.5  $RC$  电路在矩形脉冲信号激励时的响应 …… 58
  - 3.5.1 微分电路 …… 58
  - 3.5.2 积分电路 …… 60
- 3.6  $RL$  电路的响应 …… 61
  - 3.6.1  $RL$  电路的零输入响应 …… 61
  - 3.6.2  $RL$  电路的零状态响应 …… 62
  - 3.6.3  $RL$  电路的全响应 …… 63
- 3.7 应用实例 …… 66
  - 3.7.1 照相闪光灯装置 …… 66
  - 3.7.2 汽车点火电路 …… 67

小结 .....	67	5.2.2 三相负载的三角形联结 .....	120
习题 .....	68	5.3 三相电路的功率 .....	121
<b>第4章 正弦交流电路</b> .....	<b>72</b>	5.3.1 三相功率的计算 .....	121
4.1 正弦交流电路的基本概念 .....	73	5.3.2 功率的测量 .....	124
4.1.1 正弦量的周期、频率和角频率 .....	73	5.4 安全用电 .....	126
4.1.2 正弦量的瞬时值、幅值与有效值 .....	73	5.4.1 触电及触电伤害 .....	126
4.1.3 正弦量的相位、初相位和相位差 .....	74	5.4.2 触电方式 .....	126
4.2 正弦交流电路的分析基础 .....	75	5.4.3 触电防护 .....	127
4.2.1 复数 .....	75	5.5 三相电路应用实例 .....	128
4.2.2 正弦量的相量表示 .....	77	小结 .....	129
4.2.3 正弦量的运算 .....	78	习题 .....	130
4.3 单一参数的交流电路 .....	79	<b>第6章 磁路与变压器</b> .....	<b>132</b>
4.3.1 纯电阻电路 .....	79	6.1 磁场与磁路 .....	132
4.3.2 纯电感电路 .....	80	6.1.1 磁场的基本物理量 .....	132
4.3.3 纯电容电路 .....	82	6.1.2 磁性物质的磁性能 .....	134
4.4 串联交流电路 .....	85	6.1.3 磁路欧姆定律 .....	135
4.5 交流电路的功率及功率因数 .....	88	6.2 单相变压器 .....	136
4.6 阻抗的串联与并联 .....	93	6.2.1 变压器的构造 .....	136
4.6.1 阻抗的串联 .....	93	6.2.2 变压器的工作原理 .....	137
4.6.2 阻抗的并联 .....	93	6.2.3 变压器的功率损耗及效率 .....	139
4.7 交流电路的频率特性 .....	95	6.3 变压器绕组的极性及多绕组变压器 .....	140
4.7.1 RC电路的选频特性 .....	96	6.3.1 变压器绕组的极性 .....	140
4.7.2 谐振电路 .....	99	6.3.2 多绕组变压器 .....	141
4.8 交流电路应用实例 .....	103	6.4 特殊变压器 .....	142
4.8.1 荧光灯电路 .....	103	6.4.1 自耦变压器 .....	142
4.8.2 收音机的调谐电路 .....	103	6.4.2 仪用互感器 .....	143
小结 .....	104	6.5 三相变压器 .....	144
习题 .....	107	小结 .....	144
<b>第5章 三相交流电路</b> .....	<b>112</b>	习题 .....	146
5.1 三相对称电源 .....	112	<b>第7章 常用半导体器件</b> .....	<b>148</b>
5.1.1 三相电源的产生 .....	113	7.1 半导体的基本知识 .....	148
5.1.2 线电压与相电压的关系 .....	114	7.1.1 本征半导体 .....	149
5.2 三相负载的联结 .....	115	7.1.2 杂质半导体 .....	150
5.2.1 三相负载的星形联结 .....	116	7.2 PN结 .....	151
		7.2.1 PN结的形成 .....	151





7.2.2	PN 结的单向导电性	152	8.3	放大电路的 3 种基本接法	200
7.2.3	PN 结的电流方程	154	8.4	放大电路的基本分析方法	201
7.3	二极管	154	8.4.1	直流通路与交流通路	201
7.3.1	二极管的类型和结构	155	8.4.2	放大电路的静态分析	202
7.3.2	二极管的伏安特性	155	8.4.3	放大电路的动态分析	206
7.3.3	二极管的主要参数	156	8.4.4	微变等效电路法	208
7.3.4	二极管的主要用途	157	8.5	静态工作点的稳定	213
7.4	稳压二极管	159	8.5.1	温度变化对静态工作点的影响	213
7.5	晶体管	161	8.5.2	典型稳定静态工作点的电路	214
7.5.1	晶体管的类型和结构	161	8.6	射极输出器的分析及其应用	217
7.5.2	晶体管的电流放大原理	163	8.6.1	静态分析	218
7.5.3	晶体管的输入和输出特性曲线	166	8.6.2	动态分析	218
7.5.4	晶体管的主要参数	170	8.6.3	射极输出器的应用	219
7.6	场效应晶体管	172	8.7	多级放大电路	220
7.6.1	N 型沟道 MOS 管	172	8.7.1	多级放大电路的级间耦合方式	220
7.6.2	P 型沟道 MOS 管	177	8.7.2	多级放大电路的分析方法	222
7.6.3	场效应晶体管的主要参数	179	8.8	差分放大电路	224
7.6.4	场效应晶体管与晶体管的比较	180	8.8.1	零点漂移	224
7.7	新型半导体器件	181	8.8.2	差分放大电路的组成及工作原理	225
7.7.1	发光二极管	181	8.8.3	典型差分放大电路	226
7.7.2	光电二极管	182	8.8.4	改进型差分放大电路	229
7.7.3	光电晶体管	183	8.9	场效应晶体管放大电路	230
7.7.4	光耦合器	185	8.9.1	共源放大电路	230
7.7.5	晶闸管	185	8.9.2	共漏放大电路	234
小结		188	8.10	放大电路应用实例	235
习题		190	8.10.1	家电防盗报警器	235
<b>第 8 章 基本放大电路</b>		195	8.10.2	光控照明电路	236
8.1	放大电路的组成及其作用	195	8.10.3	水位自动控制电路	236
8.1.1	放大电路的组成	196	小结		237
8.1.2	放大电路的主要性能指标	197	习题		238
8.2	放大电路的工作原理	199	<b>第 9 章 功率放大电路</b>		244
8.2.1	静态工作与静态工作点	199	9.1	功率放大电路的特点	244
8.2.2	动态工作与放大原理	200	9.2	变压器耦合功率放大电路	245

9.2.1 变压器耦合单管功率放大电路	246	<b>第 11 章 电子电路中的反馈</b> ····· 281
9.2.2 变压器耦合乙类推挽功率放大电路	248	
9.3 互补对称功率放大电路	249	
9.3.1 OTL 电路	249	
9.3.2 OCL 电路	250	
9.4 集成功率放大电路及其应用实例	254	
小结	255	
习题	257	
<b>第 10 章 集成运算放大器</b>	260	
10.1 集成运算放大器简介	260	
10.1.1 集成运算放大器的组成	261	
10.1.2 集成运算放大器的主要性能指标	262	
10.1.3 理想集成运算放大器及其分析依据	263	
10.2 基本运算电路	264	
10.2.1 比例运算电路	264	
10.2.2 加法运算电路	266	
10.2.3 减法运算电路	267	
10.2.4 积分运算电路	268	
10.2.5 微分运算电路	269	
10.3 电压比较器	270	
10.3.1 单限电压比较器	271	
10.3.2 滞回电压比较器	271	
10.3.3 双限电压比较器	273	
10.4 集成运算放大器的使用	273	
10.4.1 集成运算放大器的分类及选用	274	
10.4.2 集成运算放大器的使用要点	275	
10.5 应用实例分析	276	
10.5.1 三角波-方波发生器	276	
10.5.2 温度-电压转换电路	277	
小结	278	
习题	279	
11.1 反馈的概念	281	
11.1.1 反馈的基本概念	282	
11.1.2 反馈的类型	282	
11.2 反馈类型的判断方法	283	
11.3 集成运算放大电路中的四种反馈组态	285	
11.3.1 电压串联负反馈	285	
11.3.2 电压并联负反馈	286	
11.3.3 电流串联负反馈	286	
11.3.4 电流并联负反馈	287	
11.4 负反馈对放大电路性能的影响	288	
11.4.1 负反馈与放大倍数的关系	288	
11.4.2 负反馈与放大倍数稳定性的关系	288	
11.4.3 负反馈对输出电压、电流的稳定作用	289	
11.4.4 负反馈对输入和输出电阻的影响	289	
11.4.5 负反馈与非线性失真的关系	290	
11.4.6 负反馈与通频带宽的关系	291	
11.5 正反馈振荡电路	292	
11.5.1 正弦波振荡电路的基本知识	292	
11.5.2 RC 正弦波振荡电路	294	
11.5.3 LC 正弦波振荡电路	296	
11.6 应用电路实例	298	
11.6.1 小型温度控制电路	298	
11.6.2 简易电子琴电路	298	
11.6.3 房客离房提醒器电路	300	
11.6.4 高频振荡型开关	300	
小结	301	
习题	302	
<b>第 12 章 直流稳压电源</b>	307	
12.1 直流稳压电源中各部分的作用	307	



12.1.1 直流稳压电源的组成 …	307	12.4.3 串联开关型稳压电路 …	317
12.1.2 直流稳压电源的作用 …	307	12.5 集成稳压电源……………	319
12.2 整流电路 ……………	308	12.6 直流稳压电源应用实例 ……	320
12.2.1 单相半波整流电路 ……	308	12.6.1 三端集成稳压器的 扩展用法 ……………	320
12.2.2 单相桥式整流电路 ……	309	12.6.2 6~30V、500mA 稳压 电源电路 ……………	322
12.3 滤波电路 ……………	311	小结……………	322
12.3.1 电容滤波电路 ……………	311	习题……………	323
12.3.2 电感滤波电路 ……………	314	部分习题答案 ……………	327
12.3.3 复式滤波电路 ……………	314	参考文献 ……………	334
12.4 稳压电路 ……………	315		
12.4.1 稳压管稳压电路 ……	315		
12.4.2 串联反馈型稳压电路 …	316		

# 第1章

## 电路的基本概念与基本定律

本章主要介绍电路的基本概念，如电路的基本物理量，电路的组成及作用，电压、电流的参考方向，电路的工作状态，电源与负载的判断。重点介绍电路的基本定律——欧姆定律和基尔霍夫定律，并以直流电路为例，讨论如何应用电路的基本定律来分析电路。



### 本章教学目标与要求

- 理解电压和电流参考方向的概念。
- 了解电路的3种工作状态。
- 能够区分电压与电位的概念并进行电压与电位的计算。
- 熟练掌握电源与负载的判断方法以及功率的计算。
- 熟练掌握欧姆定律和基尔霍夫定律在电路中的应用及电路分析。



### 引例

在日常生活中，人们所接触的实际电路很多，如家用电器：微波炉、电磁炉、电冰箱等，这些电器因工作需要其内部就有不同的交流电路，而家庭生活必备的手电筒则是最简单的直流电路。无论是由交流电路还是直流电路构成的电器人们都会操作，可是要从电路原理上进行分析，就需要具备一定的电路基础知识。通过本章的学习，将为同学们了解电路原理和进行电路分析打下必要的基础。

### 1.1 电路的组成和作用

电路是由若干电气设备或元器件为实现一定功能、按一定方式组合起来的整体。简单地说，电路就是电流流通的路径。

电路的作用有两种：一是实现能量的传输和转换；二是实现信号的传递与处理。

在各行各业以及人们的日常生活中存在着举不胜举的实际电路，但根据电路的作用，可把它分成两大类。一类是以实现能量传输与转换为主要目的



【电力电路】

的电路,常见的各种照明电路和动力电路就是这一类。人们常用的手电筒就是能量传输与转换的最简单的例子。在如图 1.1(a)所示的手电筒电路中,当开关闭合后,电池把化学能转换成电能供给灯泡,灯泡再把电能转换成光能用来照明。对于这一类电路来说,一般要求能量损耗小、转换效率高。



图 1.1 电路实例

另一类电路是以实现信号的传递与处理为主要目的的,电子技术、通信系统以及非电量测量中的电路就主要实现这个功能。在如图 1.1(b)所示的扬声器电路中,接收器将声音信号转换成电信号,经过对电信号的放大处理,再将放大后的电信号转换成声音信号发送出来。当然,在这类电路中也存在能量传输和转换问题,但因其数量较小,所以主要关注的是信号转换和处理的过程。



【电路组成】

尽管实际电路各式各样,实现的功能也各不相同,但任何电路都包含电源、负载和连接导线(中间环节)等 3 个基本部分。

电源是将其他形式的能量(如化学能、机械能、热能和光能等)转换为电能的供电设备。例如,发电机将机械能转换成电能,而信号源将非电信号转换成电信号。负载是将电能转换成其他形式能量的用电设备。例如,电动机将电能转换成机械能,而荧光灯将电能转换成光能和热能。连接导线将电源和负载连成通路,起着连通电路和能量传输的作用。当然,根据实际需要,电路中除了这 3 个基本部分外,还需要增加一些辅助设备来组成功能强大且完善的电路,如变压器、断路器、开关等。

## 1.2 电路的基本物理量

电路理论中涉及的物理量主要有电流、电压、电动势、电能和电功率。当电路中的电流、电压、电动势等物理量随时间变化时,一般用小写字母  $i$ 、 $u$ 、 $e$  等表示;当用大写字母  $I$ 、 $U$ 、 $E$ 、 $P$ 、 $W$  时,则表示对应物理量的恒定量。在电路分析中,主要关心的物理量是电流、电压和功率。

### 1.2.1 电流

单位时间内通过导体横截面的电荷 [量]<sup>①</sup>称为电流。在直流电路中,电流用  $I$  表示,它与电荷 [量]  $Q$ 、时间  $t$  之间的关系为

$$I = \frac{Q}{t}$$

① 方括号中的字,在不致引起混淆、误解的情况下,可以省略。





式中：电荷 [量]  $Q$  的单位为库 [仑] (C)；时间  $t$  的单位为秒 (s)；电流  $I$  的单位为安 [培] (A)。

随时间变化的电流用  $i$  表示，它等于电荷量  $q$  对时间  $t$  的变化率(导数)，即

$$i = \frac{dq}{dt}$$

电流的实际方向规定为正电荷定向移动的方向或负电荷定向移动的反方向。

如图 1.2 所示(设电源的内电阻为零)，在外电路中，电流的实际方向为由电源的正极经负载流向电源的负极，在内电路中由电源的负极流向正极。

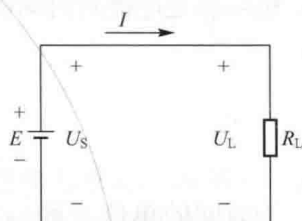


图 1.2 最简单的电路

### 1.2.2 电压

电场力将单位正电荷从电路的某一点移至另一点时所消耗的能量称为这两点间的电压。在直流电路中，电压用字母  $U$  表示，单位是伏 [特] (V)。

电压的实际方向规定为由高电位指向低电位，即电位降的方向，故电压有时又称为电压降。在如图 1.2 所示的电路中， $U_s$  和  $U_L$  分别为电源的端电压和负载的端电压。

### 1.2.3 电动势

电源中的非电场力将单位正电荷从电源的负极移至电源的正极所转换来的电能称为电源的电动势，在直流电路中用字母  $E$  表示，单位为伏特 (V)。

电动势的实际方向规定为由电源负极指向电源正极的方向，即电位升的方向。它与电源端电压的实际方向是相反的。在如图 1.2 所示的电路中，电动势  $E$  和电源端电压  $U_s$  大小相等、方向相反。

### 1.2.4 电能

当正电荷从元件电压的正极经元件运动到电压的负极时，电场中电场力对电荷做正功，这时元件吸收电能；反之，当正电荷从电压负极经元件运动到电压正极时，电场力做负功，元件发出电能。

从  $t_0$  到  $t$  的时间内，元件吸收的电能可根据电压的定义(A、B 两点的电压在量值上等于电场力将单位正电荷由 A 点移动到 B 点所做的功)求得，即

$$W = \int_{q(t_0)}^{q(t)} u dq$$

由于  $i = \frac{dq}{dt}$ ，所以

$$W = \int_{t_0}^t u(\xi) i(\xi) d(\xi) \quad (1-1)$$

在直流电路中，电能的表达式为

$$W = UIt$$

在式(1-1)中， $u$  和  $i$  都是时间的函数。当电流的单位为 A，电压的单位为 V 时，能量的单位为 J(焦 [耳])。实际工程中，电能的计量单位为千瓦时(kW·h)，1 千瓦时就



是平时说的1度电,它与焦耳之间的关系为  $1\text{kW}\cdot\text{h}=3.6\times 10^6\text{J}$ 。

### 1.2.5 电功率

电功率是电能对时间的变化率(导数),由式(1-1)可知,元件吸收的电功率为

$$p(t) = \frac{dW}{dt}$$

即

$$p(t) = u(t)i(t) \quad \text{或} \quad p = ui$$

当时间的单位为秒(s),电压的单位为伏[特](V)时,电功率的单位为瓦[特](W)。在直流电路中,电功率的表达式为

$$P = UI$$

根据电压和电动势的定义,在如图1.2所示的电路中,电源产生的功率为

$$P_E = EI$$

电源输出的功率为

$$P_S = U_S I$$

负载消耗的功率为

$$P_L = U_L I$$

本书中各物理量的单位均采用国际单位制(SI),如安[培](A)、伏[特](V)等,但在实际应用中,只有这一个数量级的单位使用起来不方便,所以在表1-1中列出了SI词头,在基本单位前面加词头就构成倍数单位(十进倍数单位与分数单位)。词头不得单独使用。

表1-1 SI词头

因 数	词头名称		符 号
	英 文	中 文	
$10^{24}$	yotta	尧[它]	Y
$10^{21}$	zetta	泽[它]	Z
$10^{18}$	exa	艾[可萨]	E
$10^{15}$	peta	拍[它]	P
$10^{12}$	tera	太[拉]	T
$10^9$	giga	吉[咖]	G
$10^6$	mega	兆	M
$10^3$	kilo	千	k
$10^2$	hecto	百	h
$10^1$	deca	十	da
$10^{-1}$	deci	分	d
$10^{-2}$	centi	厘	c
$10^{-3}$	milli	毫	m
$10^{-6}$	micro	微	$\mu$
$10^{-9}$	nano	纳[诺]	n
$10^{-12}$	pico	皮[可]	p
$10^{-15}$	femto	飞[母托]	f
$10^{-18}$	atto	阿[托]	a
$10^{-21}$	zepto	仄[普托]	z
$10^{-24}$	yocto	幺[科托]	y



### 1.3 电路的状态及特点

在不同的工作条件下,电路会处于不同的工作状态,并具有不同的特点。电路的状态主要有短路、开路和通路这3种。

#### 1.3.1 短路

当电路中某一部分电路的两端用电阻可以忽略不计的导线连接起来时,该部分电路中的电流全部被导线所旁路,这部分电路所处的状态称为短路或短接。如图1.3所示,当开关 $S_1$ 闭合时,灯泡 $EL_1$ 被短路;当开关 $S_2$ 闭合时,灯泡 $EL_2$ 被短路。短路时电路的特点是短路处的电压等于零,短路电流视电路具体情况而定,如图1.4所示。

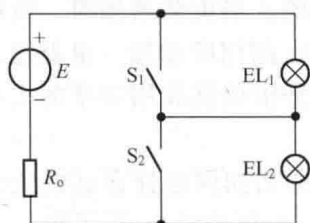


图 1.3 电源短路

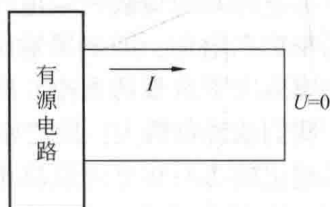


图 1.4 短路特征

在图1.3所示电路中,当开关 $S_1$ 和 $S_2$ 同时闭合时,即所有负载全部被短路,电源产生的功率将全部由电源内阻和导线电阻所消耗,此时电源所处的状态称为电源短路。

#### 特别提示

- 电源被短路时,短路电流比电路正常工作时大得多,时间稍长,便会导致电路中的设备烧毁甚至引起火灾。因此,在实际电路中一定要避免电源被短路的现象。

#### 1.3.2 开路

当电路中某一部分电路与电源断开时,该部分电路中没有电流,也没有能量的传输和转换,这部分电路所处的状态称为开路。在图1.5所示的电路中,当开关 $S_1$ 单独打开时,灯泡 $EL_1$ 所在的支路开路;当开关 $S_2$ 单独打开时,灯泡 $EL_2$ 所在支路开路。开路时电路的特点是开路处的电流等于零,开路处的电压视电路情况而定,如图1.6所示。

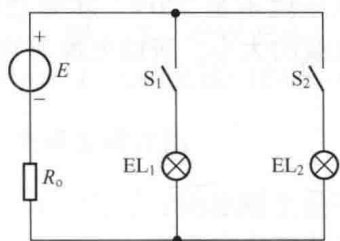


图 1.5 电源开路

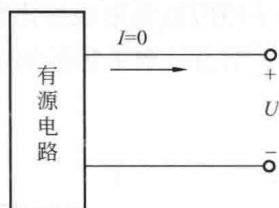


图 1.6 开路特征

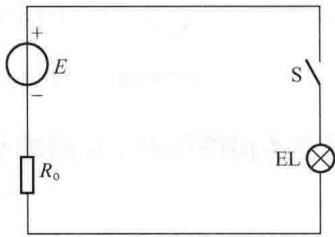


图 1.7 电源通路

当图 1.5 中的开关  $S_1$  和  $S_2$  同时打开时, 所有负载开路, 电源既不产生也不输出功率, 此时电源的状态称为空载。

### 1.3.3 通路

在图 1.7 所示的电路中, 当开关  $S$  闭合时, 电源与负载接通, 电路中有了电流以及能量的传输和转换, 此时电路的状态称为通路。

通路时, 电源向负载输出功率, 此时电源的状态称为有载。电源有载工作时, 电源产生的功率应该等于电路其他各部分消耗的功率之和, 即整个电路应该是功率守恒的。

在实际电路中, 负载通常都是并联运行的。电源在内阻较小时其端电压基本是不变的, 所以并联在电源端的负载两端电压也是基本不变的。当负载增加时, 负载所取用的总电流和总功率都在增加, 即电源输出的功率和电流也都相应增加。也就是说, 电源输出的电流和功率取决于负载的大小。所谓负载的大小是指负载取用功率的大小, 负载取用的功率大, 我们就说负载大, 反之亦然。

既然电源输出的功率和电流取决于负载的大小, 那么如何选择合适的负载并且确定负载上的电压、电流和功率就是我们所关心的问题, 而要解决这个问题, 应从额定值讲起。

各种电气设备在工作时, 其电压、电流和功率都有一定的限额, 这些限额是用来表示它们正常工作时的条件和能力的, 称为额定值。额定值多数是根据电气设备的绝缘材料的耐热性能及绝缘强度来给定的。当电流超过额定值较大时, 会发热过甚, 绝缘材料损坏, 电气设备也会随之损坏或者寿命降低; 当电压远远超过额定值时, 绝缘材料可能被击穿。反之, 如果电压和电流远低于额定值, 设备就不能正常工作, 设备利用率低。此外, 对于各种电阻器来说, 电压或电流过高, 都会使电阻器损坏。因此, 在制定电气设备额定值时, 要全面考虑设备使用的经济性、可靠性及寿命等因素。

在使用电气设备时, 更应该充分考虑其额定数据。电气设备或元件的额定值通常是标在铭牌上或者写在说明书中的。例如, 日常用的荧光灯上标有“220V, 25W”, 这就是其额定值, 说明该荧光灯应该工作在 220V 的电压下。额定电压、额定电流和额定功率分别用  $U_N$ 、 $I_N$  和  $P_N$  来表示。

当然, 电气设备或元件在使用时, 电压、电流和功率的实际值不一定等于它们的额定值。原因之一就是电网电压经常波动, 如电源实际电压会由于波动稍低于或高于额定电压 220V。这样“220V, 25W”的荧光灯上的电压就不是 220V, 实际功率也就不是 25W 了。另一个原因就是电源输出的功率取决于负载的大小, 所以电源通常不一定处于额定工作状态, 但是一般不超过额定值。

#### 特别提示

- 功率守恒是分析电路最重要的依据之一, 也是在后续章节的电路分析中用来进行验证的最常用且有效的方式之一, 故要重点掌握功率守恒。