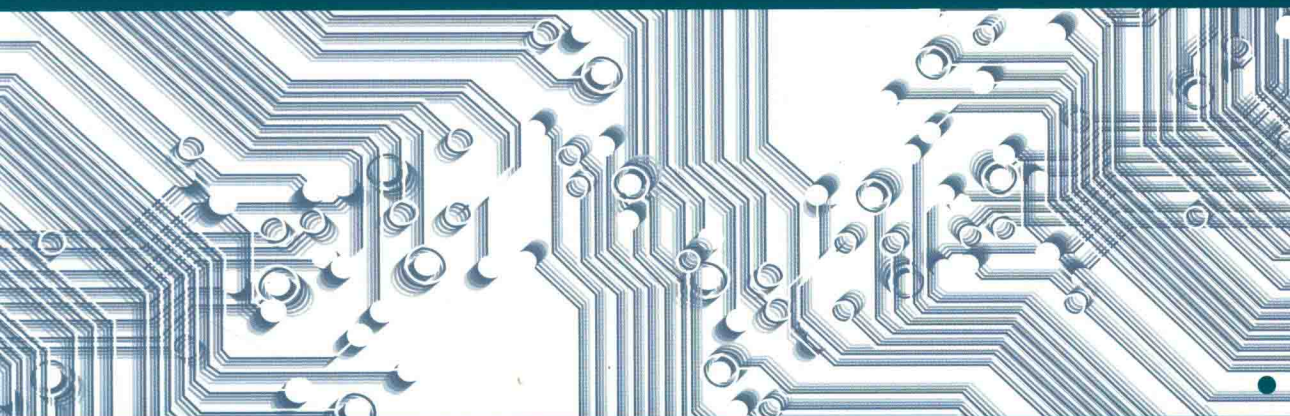




“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

# 电路与电子学

## 第2版



麻寿光 主编

高等教育出版社

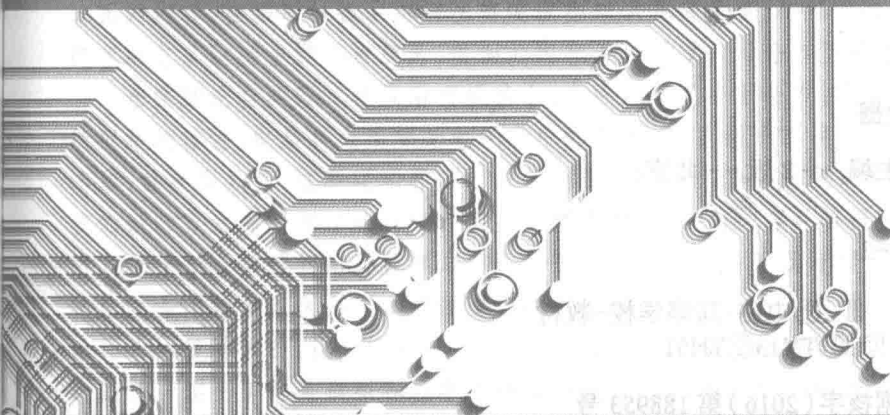


“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

DIANLU YU DIANZIXUE

# 电路与电子学

第2版



麻寿光 主编

高等教育出版社·北京

## 内容提要

《电路与电子学》(第2版)是“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材,是针对计算机类、机电类专业新课程体系和教学内容编写的,旨在介绍电路和电子学的基本概念及工程应用,从较低的起点开始,以基础知识为重点,用通俗简明的方法指导学生顺利入门。

本书共分15章:第1~5章介绍电路的基本概念及电路元器件、电路的分析方法、电路的暂态分析、正弦交流电、三相交流电路;第6章介绍小功率交直流电动机、无刷直流电动机;第7~15章介绍电子学简介、半导体和结型二极管、整流与稳压、晶体管、小信号放大器、功率放大器、运算放大器、振荡器、稳压电源。有些章节含有电路故障处理的内容,系实际工作经验的总结,有助于培养学生解决实际问题的能力。

本书可作为普通高等学校计算机类、机电类专业的教材,也可供感兴趣的读者作为参考书使用。

## 图书在版编目(CIP)数据

电路与电子学/麻寿光主编.--2版.--北京:  
高等教育出版社,2016.8  
ISBN 978-7-04-046170-1

I.①电… II.①麻… III.①电路-高等学校-教材  
②电子学-高等学校-教材 IV.①TM13②TN01

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第188953号

策划编辑 杜 炜	责任编辑 王耀锋	封面设计 李小璐	版式设计 马敬茹
插图绘制 杜晓丹	责任校对 窦丽娜	责任印制 刘思涵	

---

出版发行 高等教育出版社	网 址 <a href="http://www.hep.edu.cn">http://www.hep.edu.cn</a>
社 址 北京市西城区德外大街4号	<a href="http://www.hep.com.cn">http://www.hep.com.cn</a>
邮政编码 100120	网上订购 <a href="http://www.hepmall.com.cn">http://www.hepmall.com.cn</a>
印 刷 山东省高唐印刷有限责任公司	<a href="http://www.hepmall.com">http://www.hepmall.com</a>
开 本 787mm×1092mm 1/16	<a href="http://www.hepmall.cn">http://www.hepmall.cn</a>
印 张 33	版 次 2006年5月第1版
字 数 810千字	2016年8月第2版
购书热线 010-58581118	印 次 2016年8月第1次印刷
咨询电话 400-810-0598	定 价 47.50元

---

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换  
版权所有 侵权必究  
物料号 46170-00

## 第2版前言

本书是“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材,是在原“十五”国家级规划教材《电路与电子学》基础上修订而成的。本书适用于计算机类、机电类专业新的课程体系和教学内容,旨在介绍电路和电子学的基本概念及工程应用。

本次修订仍然依照“易则易知,简则易从”的道理,从较低的起点开始,以基础知识为重点,用通俗简明的方法指导学生顺利入门。让一个初次接触电路理论和电子学的学生有一个平坦的理论和实践经验的积累过程,有助于学生逐步理解如 $R$ 、 $L$ 、 $C$ 、二极管和晶体管这类器件的功能,然后明白这些功能可以解决的实际问题以及在实际系统中的应用。本教材包括电路和电子学两方面的内容,在编写过程中特别注重使这些知识变得易懂、尽可能准确并且能够以逻辑连贯的主题理解它。这些主题逐步展开,前面的内容为后面深入讨论打下基础。

注重理论与实际工程应用有机结合,实际应用贯穿于全书,这是本书的一个显著特点。本书所列举的器件、电路和应用都是电子学中的典例,许多例子提供了普遍适用的参数,比如元器件清单、替换指导等,这些在实际工作中都是很有用的。本书提供的信息、计算方法和实际电子系统的设计方法都是有经验的技术人员所常用的,书中的内容具有很强的实用性。

电子工业继续朝向将数字与混合信号应用到在过去是属于纯模拟电路的功能中,数字与模拟已混在一起难以区分。本书注重模拟电子学的数字化变革趋势,许多方案都是模拟与数字电路结合的混合设计,比如晶体管开关、开关式放大器、直接数字合成、电源的各种保护措施、开关电源设计实例等都是模拟和数字系统混合设计的典例。数字电子技术的基础包含于本书之中,不要求学生先修完数字电子学。

除更正第一版中的某些图文错误,使文字叙述更为准确流畅外,本次修订跟踪近年来电路与电子学的发展趋势,对以下章节内容进行了修订:第6章增加了永磁无刷直流电动机一节;第8章增加了带隙介绍、新型半导体材料介绍、雪崩二极管及应用介绍、光伏电池介绍;第9章增加了半导体器件注册体系;第10章增加了各类晶体管特性与符号分类图、IGBT介绍及模拟电子开关介绍;第11章增加了职业环境声音安全与健康标准介绍、正反馈与电子电路的回滞效应;第12章更改了互补功率放大器模型,增加了桥接放大器实例与开关功率放大器实用电路;第13章运算放大器应用增加了由运放构成巴特沃思、切比雪夫型低通、高通、带通滤波器实例与仿真特性,增加了运放构成微分电路;第14章增加了运放构成的振荡器电路、基于AD9850的DDS电路;第15章增加了开关电源拓扑结构总结、电荷泵开关电源、逆程激励开关电源及故障分析实例。

本书的构思具有使电路和电子学的学习更为生动与有效的特色。书中的插图尽可能使读者直观地理解正文的内容,每一节结尾配有理解内容的自测题,每章结束的总结列出本章的关键内容,并配有内容丰富的练习题和展宽思路的扩展思考题。自测题配有解答可作参考。所有这些都使读者提高学习的兴趣并有更多的收获,为进一步的深造打下坚实的基础。配合本书我们

建有课程网站 <http://dldz.jpkc.cc/#>,在那里读者能得到许多有用的信息。

本次修订中葛春亮负责1~6章、鲍佳负责7~10章与索引、麻寿光负责11~14章、金海负责15章、杨俊秀负责实验平台设计与课程网站维护。全书由麻寿光统稿。修订伊始在加州大学工作的麻浩波博士为本书修订收集了必要的资料。编写过程中始终得到家人与同事的支持,在此致以衷心的感谢!

北京联合大学王传新教授不辞辛劳精心审阅了书稿,提出了许多中肯的修改意见,对提高本书的质量至关重要,在此特致以衷心的感谢!

虽然用了很多的时间尽可能改正书稿中的谬误与不足,但由于编者水平有限,书中仍难免差错,恳请读者指正。

编者

2015年5月

# 第 1 版前言

专家们认为面向 21 世纪的课程体系改革要着重体现:重应用、重开发、重技能、重视野、重素质。根据该原则,本书为宽广的电路和电子学领域提供入门知识和技能,也为那些要进一步深造的人提供关于电路和电子学的概念、基本理论及其在工程中应用的扎实基础。

本书是针对计算机类、机电类专业新的课程体系和教学内容编写的。目的是介绍电路和电子学的基本概念及工程应用。依照“易则易知,简则易从”的道理,本书从较低的起点开始,以基础知识为重点,以通俗简明的方法指导学生顺利入门。让一个初次接触电路理论和电子学的学生有一个平坦的理论和实践经验的积累过程是很重要的。这样有助于学生逐步理解如  $R$ 、 $L$ 、 $C$ 、二极管和三极管这类元器件的功能,然后明白这些功能可以解决的实际问题以及在实际系统中的应用。本教材包括电路和电子学两方面的内容,在编写过程中特别注重使这些知识变得易懂、尽可能准确并且能够以逻辑连贯的主题理解它。这些主题逐步展开,前面的内容为后面深入讨论打下基础。

注重理论与实际工程应用有机结合,实际应用贯穿于全书,这是本书的一个显著特点。本书中所列举的器件、电路和应用都是电子学中的典例,许多例子提供了普遍适用的参数,比如元器件清单、替换指导等,这些在实际工作中都是很有用的。本书提供的信息、计算方法和实际电子系统的设计方法都是有经验的技术人员所常用的,书中的内容具有很强的实用性。

本书注重模拟电子学的数字化变革趋势,许多方案都是模拟与数字电路相结合的混合设计,比如三极管开关、开关式放大器、直接数字合成、电源的各种保护措施、开关电源设计实例等都是模拟和数字系统混合设计的典例。

本书共分 15 章,前 5 章介绍电路的元器件和基本组成、直流电路、动态电路和交流稳态电路的基本分析方法,第 6 章简要介绍小功率电动机,主要考虑到电动机是最常用的动力设备,也是计算机控制的重要对象,学习电类课程的学生有必要了解其工作特点。后面 9 章包括固态器件理论、三极管和增益的概念、放大器、集成运算放大器、振荡器和各种形式的稳压电源。某些章中专门有一节介绍电路和系统的故障处理,这些都是实际经验的总结,对于培养学生解决实际问题的能力是很有帮助的。本书也介绍计算机仿真软件的应用,但没有独立成 1 章,这些工具对大多数学生而言使用是很方便的。

读者将发现本书的构思具有使电路和电子学的学习更为生动与有效的特色。书中的插图尽可能帮你直观地理解正文的内容,每一节结尾配有理解内容的自测题,每章结束的总结列出本章的关键内容,并配有内容丰富的复习题和展宽思路的判断题。自测题配有解答,可以让读者作参考。所有这些都使读者提高学习的兴趣并有更多的收获,为进一步深造打下坚实的基础。

本书第 1~6 章由葛春亮编写,第 7~10 章由杜晶晶编写,第 11~15 章由麻寿光编写,全书由麻寿光统稿。参加本书编写工作的还有陈拔贤、王慧、鲍佳、韩永华等。于秀香完成了大部分书籍的图、文输入工作。本书的编写工作始终得到浙江理工大学教务处的支持。

杭州电子科技大学罗友教授百忙中仔细审阅了书稿,并提出了许多宝贵的意见;浙江大学蒋黔麟教授就本书的内容组织、编写原则等提出了许多重要的建议,在此一并致以衷心的感谢!

虽然用了很多的时间尽可能改正书稿中的谬误与不足,但由于编者水平有限,书中仍难免差错,恳请读者指正。

编者

2005年9月

# 目 录

<b>第 1 章 电路的基本概念及电路元器件</b> .....	1
1.1 电路的组成要素 .....	1
自测题 .....	2
1.2 电池 .....	2
1.2.1 电池的种类 .....	3
1.2.2 电池的容量 .....	3
1.2.3 电池的内部电阻 .....	3
1.2.4 常用的电池及其特性 .....	4
自测题 .....	5
1.3 电阻元件 .....	6
1.3.1 电阻元件的分类 .....	6
1.3.2 电阻的额定功率 .....	6
1.3.3 电阻的容差(允许误差) .....	7
1.3.4 电阻的种类 .....	7
自测题 .....	9
1.4 电容元件 .....	9
1.4.1 电容器的主要参数 .....	10
1.4.2 决定电容量的因素 .....	11
1.4.3 电容器的种类及特性 .....	11
自测题 .....	14
1.5 电感元件 .....	14
1.5.1 决定电感量的因素 .....	14
1.5.2 电感器的额定值 .....	15
1.5.3 电感器的种类 .....	15
自测题 .....	17
1.6 电路的基本物理量 .....	17
1.6.1 电流及其参考方向 .....	17
1.6.2 电压及其参考方向 .....	18
1.6.3 功率 .....	19
自测题 .....	19
1.7 电路模型 .....	20
1.8 基尔霍夫定律及应用 .....	21
1.8.1 基尔霍夫电流定律(KCL) .....	21
1.8.2 基尔霍夫电压定律(KVL) .....	22
自测题 .....	23
总结 .....	24
复习题 .....	25
扩展思考题 .....	26
自测题答案 .....	27
<b>第 2 章 电路的分析方法</b> .....	28
2.1 电压源与电流源及其等效变换 .....	28
自测题 .....	30
2.2 支路电流法 .....	31
自测题 .....	33
2.3 节点电压法 .....	33
2.4 叠加定理 .....	36
自测题 .....	38
2.5 等效电源定理 .....	38
2.5.1 戴维宁定理 .....	38
2.5.2 诺顿定理 .....	40
自测题 .....	42
2.6 功率传递和网络变换 .....	43
2.6.1 最大功率传递 .....	43
2.6.2 T形- $\Pi$ 形网络等效变换 .....	44
总结 .....	46
复习题 .....	47
扩展思考题 .....	49
自测题答案 .....	49
<b>第 3 章 电路的暂态分析</b> .....	51
3.1 换路定则和初始值的计算 .....	51
3.1.1 电容元件的伏安关系和储能 .....	51
3.1.2 电感元件的伏安关系和储能 .....	52
3.1.3 换路定则 .....	52



自测题	55	4.6.3 并联谐振电路	98
3.2 一阶 $RC$ 电路的暂态过程	56	总结	99
3.2.1 经典法	56	复习题	100
3.2.2 三要素法	57	扩展思考题	101
自测题	61	自测题答案	102
3.3 一阶 $RL$ 电路的暂态过程	62	<b>第5章 三相交流电路</b>	103
3.3.1 经典法	62	5.1 三相交流电源	103
3.3.2 三要素法	63	自测题	105
自测题	67	5.2 三相负载的星形联结	106
总结	67	5.2.1 对称三相负载电路	107
复习题	68	5.2.2 不对称三相负载电路	108
扩展思考题	70	5.3 三相负载的三角形联结	111
自测题答案	70	5.3.1 对称三相负载电路	111
<b>第4章 正弦交流电</b>	71	5.3.2 不对称三相负载电路	112
4.1 正弦信号的基本概念	71	自测题	113
4.1.1 频率和周期	71	5.4 三相电路的功率	113
4.1.2 相位差	72	自测题	115
4.1.3 有效值	73	总结	116
自测题	75	复习题	117
4.2 正弦信号的相量表示	75	扩展思考题	118
4.2.1 复数及其运算	75	自测题答案	118
4.2.2 正弦信号的相量表示	76	<b>第6章 电动机</b>	119
自测题	79	6.1 电动机分类	119
4.3 理想 $R$ 、 $L$ 、 $C$ 元件的交流电路	79	自测题	120
4.3.1 理想电阻元件的交流电路	79	6.2 电动机的额定值	120
4.3.2 理想电感元件的交流电路	80	6.2.1 额定电压 $U_n$	120
4.3.3 理想电容元件的交流电路	81	6.2.2 额定电流 $I_n$	121
自测题	83	6.2.3 额定功率 $P_n$	121
4.4 正弦交流电路的一般分析方法	84	6.2.4 额定转速 $n_n$ 、电源的额定频率 $f_n$ 、 额定转矩 $T_n$	122
4.4.1 $RLC$ 串联交流电路	84	自测题	123
4.4.2 $RLC$ 并联交流电路	86	6.3 电动机机壳	124
4.4.3 阻抗的串联和并联	87	6.4 笼型感应电动机	125
自测题	88	6.5 单相电动机	126
4.5 交流电路的功率	89	6.5.1 电阻分相式电动机	126
自测题	92	6.5.2 电容起动电动机	131
4.6 谐振电路	92	6.5.3 永久电容分相式电动机	131
4.6.1 串联谐振电路	92	6.5.4 双值电容电动机	132
4.6.2 选择性和通频带宽度	93		

6.5.5 罩极式电动机	133	自测题	164
6.5.6 磁阻起动电动机	133	8.4 P型半导体	164
自测题	134	自测题	165
6.6 同步电动机	135	8.5 多数载流子和少数载流子	165
6.7 三相电动机	135	自测题	165
自测题	136	8.6 其他材料	166
6.8 直流电动机	136	8.7 带隙	166
6.8.1 并励直流电动机	137	自测题	167
6.8.2 串励直流电动机	138	8.8 PN结	167
6.8.3 复励直流电动机	138	自测题	170
自测题	138	8.9 二极管的特性曲线	171
6.9 永磁无刷直流电动机	138	自测题	174
6.9.1 永磁无刷直流电动机的基本 结构	139	8.10 二极管的引脚辨认	174
6.9.2 永磁无刷直流电动机的工作 原理	140	自测题	177
总结	141	8.11 二极管的品种和应用	177
复习题	143	8.11.1 整流二极管	177
扩展思考题	144	8.11.2 肖特基二极管	178
自测题答案	144	8.11.3 稳压二极管	178
<b>第7章 电子学简介</b>	145	8.11.4 二极管应用电路	179
7.1 发展简史	145	8.11.5 光二极管及应用	181
7.2 数字和模拟	146	8.11.6 变容二极管及应用	185
自测题	149	8.11.7 PIN二极管及应用	186
7.3 模拟电路的功能	149	自测题	188
自测题	151	8.12 光伏电源	189
7.4 直流电路和交流电路	152	自测题	192
自测题	156	总结	193
总结	156	复习题	194
复习题	156	扩展思考题	196
扩展思考题	157	自测题答案	197
自测题答案	157	<b>第9章 整流与稳压</b>	198
<b>第8章 半导体和结型二极管</b>	158	9.1 电源系统	198
8.1 导体和绝缘体	158	自测题	199
自测题	160	9.2 半波整流	199
8.2 半导体	160	自测题	201
自测题	163	9.3 全波整流	201
8.3 N型半导体	163	自测题	204
		9.4 有效值与平均值变换	204
		自测题	208

## IV 目 录

9.5 滤波	208	10.7.1 电路控制开关	263
自测题	213	10.7.2 模拟开关	266
9.6 倍压器	213	自测题	268
9.6.1 二倍压整流	213	总结	268
9.6.2 电源隔离与安全措施	214	复习题	270
9.6.3 多倍压电路	216	扩展思考题	272
自测题	217	自测题答案	272
9.7 纹波和电压稳定度	217	<b>第11章 小信号放大器</b>	273
自测题	218	11.1 增益计量	273
9.8 并联稳压电路	219	自测题	279
自测题	221	11.2 共发射极放大器	280
9.9 电源故障	221	11.2.1 共发射极放大器基本组成	280
自测题	224	11.2.2 共发射极放大器性能分析	281
9.10 零件更换	225	11.2.3 直流工作点与放大器失真	283
自测题	230	自测题	286
总结	230	11.3 使放大器稳定	287
复习题	231	自测题	291
扩展思考题	233	11.4 放大器的其他组态	292
自测题答案	234	11.4.1 放大器的输入阻抗	292
<b>第10章 晶体管</b>	235	11.4.2 共集电极放大器	293
10.1 放大	235	11.4.3 共基极放大器	294
自测题	236	自测题	297
10.2 晶体管	237	11.5 仿真和模型	298
自测题	241	自测题	300
10.3 晶体管特性曲线	241	11.6 放大器的耦合	301
10.3.1 集电极输出特性曲线	241	11.6.1 电容耦合放大器	301
10.3.2 转移特性曲线	246	11.6.2 直接耦合放大器	301
自测题	248	11.6.3 变压器耦合放大器	303
10.4 晶体管的额定参数	248	自测题	305
自测题	250	11.7 级联放大器的电压增益	306
10.5 晶体管检测	250	自测题	313
自测题	254	11.8 场效晶体管放大器	314
10.6 其他种类晶体管	254	自测题	320
10.6.1 光电晶体管	254	11.9 放大器的负反馈	320
10.6.2 场效晶体管	255	自测题	327
10.6.3 单结型晶体管	262	11.10 放大器的频率响应	327
自测题	263	自测题	331
10.7 晶体管开关	263	11.11 正反馈	332

自测题 .....	334	13.4 运算放大器的闭环增益设定 .....	385
总结 .....	334	13.4.1 闭环负反馈增益 .....	385
复习题 .....	336	13.4.2 闭环负反馈放大器增益和带宽 关系 .....	389
扩展思考题 .....	341	自测题 .....	390
自测题答案 .....	341	13.5 运算放大器的频率响应 .....	391
<b>第 12 章 功率放大器</b> .....	343	自测题 .....	394
12.1 放大器的类型 .....	343	13.6 运算放大器的应用 .....	395
自测题 .....	346	13.6.1 加法器 .....	395
12.2 甲类功率放大器 .....	346	13.6.2 有源检波器 .....	396
自测题 .....	350	13.6.3 积分器 .....	397
12.3 乙类功率放大器 .....	350	13.6.4 微分器 .....	398
自测题 .....	355	13.6.5 比较器 .....	399
12.4 甲乙类功率放大器 .....	355	13.6.6 施密特触发器 .....	402
12.4.1 甲乙类功率放大器的偏置 .....	355	13.6.7 有源滤波器 .....	405
12.4.2 互补对称放大器(OTL) .....	356	自测题 .....	412
自测题 .....	359	13.7 专用比较器 .....	412
12.5 丙类功率放大器 .....	360	自测题 .....	414
自测题 .....	364	总结 .....	414
12.6 开关式放大器 .....	364	复习题 .....	416
自测题 .....	368	扩展思考题 .....	420
总结 .....	368	自测题答案 .....	420
复习题 .....	369	<b>第 14 章 振荡器</b> .....	422
扩展思考题 .....	372	14.1 振荡器特点 .....	422
自测题答案 .....	372	自测题 .....	423
<b>第 13 章 运算放大器</b> .....	373	14.2 RC 振荡器 .....	424
13.1 差分放大器 .....	373	14.2.1 文氏电桥振荡器 .....	424
13.1.1 差分放大器的结构 .....	373	14.2.2 移相振荡器 .....	426
13.1.2 差分放大器对干扰噪声抑制 .....	374	14.2.3 双 T 网络振荡器 .....	429
自测题 .....	376	自测题 .....	430
13.2 差分放大器特性分析 .....	376	14.3 LC 振荡器 .....	431
13.2.1 差分放大器直流偏置 .....	376	自测题 .....	433
13.2.2 差模增益 .....	377	14.4 晶体振荡器 .....	434
13.2.3 共模增益与共模抑制比 .....	378	自测题 .....	437
自测题 .....	380	14.5 张弛振荡器 .....	438
13.3 运算放大器 .....	380	14.5.1 单结型晶体管振荡器 .....	438
13.3.1 运算放大器的结构 .....	380	14.5.2 多谐振荡器 .....	439
13.3.2 翻转率与功率带宽 .....	383	自测题 .....	442
自测题 .....	385		

14.6	不希望的振荡	442	15.3.2	折返式限流保护	472
	自测题	445	15.3.3	Crowbar 保护电路	475
14.7	振荡器检修	445	15.3.4	压敏电阻瞬态保护	476
	自测题	447		自测题	478
14.8	直接数字合成(DDS)信号源	447	15.4	开关式稳压电源	479
14.8.1	直接数字合成器的基本原理	447	15.4.1	开关式稳压电源的工作原理	479
14.8.2	控制与信号频率关系	449	15.4.2	开关式稳压电源的隔离	485
14.8.3	直接数字合成信号源的实现方法	450	15.4.3	低噪声开关式稳压电源	486
		450		自测题	487
14.9	DDS 故障排除	451	15.5	开关式稳压电源设计实例	488
	自测题	453	15.5.1	CS3842A 的功能	488
	总结	453	15.5.2	200 kHz、500 W 电源原理	490
	复习题	454	15.5.3	输入滤波级设计	490
	扩展思考题	458	15.5.4	电源变压器设计	493
	自测题答案	458	15.5.5	输出滤波器设计	494
<b>第 15 章</b>	<b>稳压电源</b>	<b>459</b>	15.5.6	电流传感器(互感器)计算	496
15.1	开环稳压电源	459	15.5.7	其他考虑	496
15.1.1	磁饱和稳压器	460	15.6	逆程激励开关式稳压电源及故障分析	497
15.1.2	无反馈晶体管稳压电源	462		自测题	500
	自测题	464		总结	501
15.2	闭环稳压电源	465		复习题	502
15.2.1	串联稳压电源原理	465		扩展思考题	506
15.2.2	分立元件稳压电源	465		自测题答案	506
15.2.3	集成电路稳压电源	467	<b>索引</b>		<b>507</b>
	自测题	470	<b>参考文献</b>		<b>514</b>
15.3	限流保护和限压保护	470			
15.3.1	常规限流保护	470			

# 电路的基本概念及电路元器件

本章主要介绍电路的组成和电路模型的概念,介绍电路中常用的电路元器件——电池、电阻、电容、电感的基础知识,讨论电路中电流、电压、电功率等电路物理量的基本概念,学习基尔霍夫定理。这些内容都是今后学习与分析各种电路的基础。

## 1.1 电路的组成要素

由某些电气设备或元器件按一定的方式连接起来,组成电流的通路,称为电路。大多数完整的电路包括以下五部分。

(1) 电源:为电路提供电能的设备,如干电池、发电机。

(2) 负载:取用电能并将电能转换成所需的光能、机械能、热能或其他形式能量的设备,如电灯、电动机、电炉。

(3) 连线:连接电源、负载及其他设备或元器件形成电流的通路,如金属导线。

(4) 控制装置:用以控制电路的工作,如开关、继电器。

(5) 保护装置:当电路出现故障时及时断开电路的元器件,如熔断器。

以上五部分的前三个是必需的,几乎所有完整的电路都要用到它们。控制装置、保护装置有时候可以省略。

一个完整的电路有一条或几条闭合的通路,这条通路使电流从电源的正极通过负载和控制装置流动到电源的负极。

手电筒电路是一个简单电路。图 1-1(a)所示是手电筒(剖面)的结构。手电筒电路里的电流可以沿着如图 1-1(b)所示的通路走。

在描述一个电路时,用符号代表电路元器件显然比画出元器件的实物图更方便。常用的电路元器件和它们的符号如图 1-2 所示。

用符号表示元器件是如何连接在一起的图叫作原理图。图 1-1(a)所示的手电筒的电路原理图如图 1-1(b)所示。

图 1-3 所示的公共接地符号经常用于原理图中,在比较复杂的电路和系统中用这种方法可以简化电路图。接地符号并不代表某一个特殊的元器件,只是代表电路中的一个公共点。

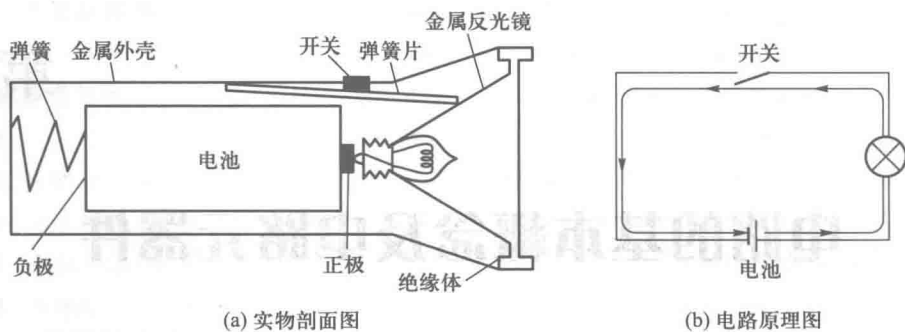


图 1-1 手电筒

元器件名称	符号
白炽灯	
电池	
熔断器	
开关	
导线	

图 1-2 常用元器件及其符号



图 1-3 接地的表示方法

## 自测题

回答下列问题:

- 完整的电路由哪五部分构成?

## 1.2 电 池

电源是电路中不可缺少的部分,电路的能量一般都由电源提供。电源可分为直流电源和交流电源,交流电源将在第4章进行介绍。直流电源也有很多种类,最常见的是电池和直流稳压电源,直流稳压电源将在第15章专门进行介绍。这一节介绍电池的基础知识,并介绍几种常用的电池。本书常用字母  $E$  表示电池。

### 1.2.1 电池的种类

电池的种类很多,主要分为原电池(一次电池)、蓄电池(二次电池)、燃料电池、太阳能电池、原子能电池等。目前,人们普遍使用的主要有原电池与蓄电池。原电池不能再充电,如碳锌电池、氯化锌电池、碱性电池和汞电池等。

蓄电池可以被放电和充电许多次。各种蓄电池可充、放电的次数各不相同,少的一百多次,多的可达几千次。蓄电池有可充电碱性电池、铅酸电池、镍镉电池、镍氢电池、锂电池等。

### 1.2.2 电池的容量

电池容量是指电池在特定条件下可以提供的能量数值。特定条件是温度、放电电流和当放电完成后的最终输出电压。电池可提供的能量因特定条件而异。例如,一个普通的手电筒电池,放电电流从 300 mA 减小到 50 mA 时,它提供的能量大约可增加两倍。对同一个电池,当温度从 21 °C 下降到 5 °C,其容量下降 30%。

电池容量用  $A \cdot h$ (安[培]·小时)表示, $A \cdot h$  是电荷量的单位

$$1 A \cdot h = 1 A \times 3600 s = 3600 C (\text{库[仑]})$$

当电池的电压确定, $A \cdot h$  就是一个容量单位。电池的能量  $W$  是功率与时间的乘积,单位是 J(焦耳)。

$$W = Pt$$

由于功率  $P = UI$ ,因此

$$W = UIt$$

如果时间  $t$  的单位为 h,电流  $I$  的单位为 A,那么功  $W$  的单位为  $W \cdot h$ (瓦[特]·小时)。电池的额定电压乘以额定的电池容量就是能量,例如一节可充电的镍氢电池容量是 2000 mA·h,额定电压是 1.25 V,则它的能量是 2.5 W·h。

### 1.2.3 电池的内部电阻

一个电池的输出电压随着电池的负载电流而变化。负载电流增加,电池的输出电压下降。输出电压的变化是由电池的内部电阻引起的。电流流经外部电路也流经电池的内部电阻。根据欧姆定律,电流流经电阻产生电压降( $U = IR$ ),电池两端的输出电压等于电池内化学反应产生的电压减去内电阻上的电压降,因此,电池两端的输出电压与电池的内电阻和负载电流的大小有关。

小电流输出时,电池两端的输出电压的变化很小,在使用过程中几乎没有什么改变。在一些场合,电池在使用过程中其输出电压变化却很大。例如,汽车在起动机时,其电池组的输出电压会从大约 12.6 V 减小到 8 V。

当电池放电时,它的内电阻会增加。因此,即使负载电流一定,它的输出电压也会逐步下降。

**例 1-1** 电压为 6 V 的电池组,其内电阻为 0.15 Ω,当负载的电流是 3.4 A 时,电池组两端的输出电压是多少?

解:

$$\begin{aligned} U_L &= U_s - I_L \times R_s \\ &= (6 - 3.4 \times 0.15) \text{ V} = 5.49 \text{ V} \end{aligned}$$



### 1.2.4 常用的电池及其特性

#### 1. 铅酸电池

铅酸电池是一种普通的蓄电池。大多数汽车、卡车、船和拖拉机中都用它来起动发动机,它的特点是可以提供几百安的大电流。

铅酸电池的实物图如图 1-4 所示,单个铅酸电池的输出电压是 2.1 V 左右。若需要更高的电压可以通过把电池串联在一起构成电池组来获得。

#### 2. 镍镉电池

镍镉电池是最早应用于手机、笔记本电脑等设备的电池,它具有良好的大电流放电特性,经受过充、放电能力强,维护简单。这种电池通常制成纽扣形或圆柱形,其额定容量在几十毫安时到几安时之间,具有从几百次到几千次充、放电的额定寿命。它的保存期很长,且既能在充满电情况下存放,也能在放完电的情况下存放。存放时对环境温度的要求也不高,可以在  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 60\text{ }^{\circ}\text{C}$  的温度下存放。



图 1-4 铅酸电池

镍镉电池其他重要的特点如下。

- (1) 很好的低温工作特性。
- (2) 生产成本较高,但工作成本较低。
- (3) 内电阻很小,因此其输出电压稳定性好。

镍镉电池最致命的缺点是,在充、放电过程中如果处理不当,会出现严重的“记忆效应”,使得使用寿命大大缩短。此外,镉是有毒的,因而镍镉电池不利于生态环境的保护。可充电的镍镉电池现在基本上不用了。

#### 3. 碳锌电池和氯化锌电池

常用的碳性电池可分为碳锌电池和氯化锌电池,这两种电池也是最便宜的原电池,因为其价格便宜而广泛使用。

碳锌电池有许多缺点。如:

- (1) 低温工作特性较差。
- (2) 内电阻较大,当电池放电时输出电压下降速度较快。
- (3) 容量/重量比较低,容量/体积比也较低,只有其他类型原电池的  $1/2\sim 1/3$ 。
- (4) 因为内电阻大,在大负载时效率低。

碳锌电池和电池组可以制成多种尺寸和形状。电池组的容量可以达到  $30\text{ A}\cdot\text{h}$ 。

氯化锌电池的结构与碳锌电池类似,但是用氯化锌做电解液。氯化锌电池有几个优于普通碳锌电池的地方。首先,氯化锌电池负载电流较大时效率比碳锌电池要高。其次,在使用过程中输出电压下降比碳锌电池慢。

碳锌电池和氯化锌电池的外形与镍镉电池没有特别的区别,一般这两种原电池较适用于耗电量较小的电子产品,如闹钟、计数器等。

#### 4. 碱性二氧化锰电池

二氧化锰电池和碳锌电池的电极相同,都用二氧化锰和锌,但是,它的电解液是氢氧化钾溶