



普通高等教育“十二五”电工电子基础课程规划教材

电工与电子 技术基础

徐秀平等编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育“十二五”电工电子基础课程规划教材

电工与电子技术基础

徐秀平 项华珍 杨敏 黄东 刘海刚 编



机械工业出版社

本书是依据教育部高等学校电工电子基础课程教学指导委员会制定教学基本要求,结合多年的教学经验,按照应用型本科人才培养模式改革的思路而编写的。全书分为三部分共18章。第一部分电工技术,内容包括直流电路、单相正弦交流电路、三相电路、线性电路的暂态分析、变压器、三相异步电动机和继电器接触控制。第二部分电子技术,内容包括模拟电子技术和数字电子技术,模拟部分有半导体器件、基本放大电路、集成运算放大器、直流稳压电源;数字部分有门电路和组合逻辑电路、触发器和时序逻辑电路、555定时器的应用、模拟量和数字量的转换、半导体存储器。第三部分实验,包含4个电工技术实验和4个电子技术实验。

本书是高等工科院校电工与电子技术基础课程的本科教材,可供各非电类专业作为电工与电子技术基础课程教材使用,也可供有关工程技术人员参考。

本书配有免费电子课件,欢迎选用本书作教材的老师登录 www.cmpedu.com 注册下载或发邮件到 xufan666@163.com 索取。

图书在版编目(CIP)数据

电工与电子技术基础/徐秀平等编. —北京:机械工业出版社, 2015.6

普通高等教育“十二五”电工电子基础课程规划教材
ISBN 978-7-111-50326-2

I. ①电… II. ①徐… 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(2015)第214334号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:徐凡 责任编辑:徐凡

封面设计:张静 责任校对:李锦莉 程俊巧

责任印制:康朝琦

北京京丰印刷厂印刷

2015年9月第1版·第1次印刷

184mm×260mm·24.25印张·597千字

标准书号:ISBN 978-7-111-50326-2

定价:46.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

服务咨询热线:010-88379833

读者购书热线:010-88379649

网络服务

机工官网:www.cmpbook.com

机工官博:weibo.com/cmp1952

教育服务网:www.cmpedu.com

金书网:www.golden-book.com

封面防伪标均为盗版

前 言

为落实教育部《关于实施高等学校本科教学质量与教学改革工程的意见》及广东省教育厅《关于全面推进广东省高校应用型本科人才培养模式改革的若干意见》的精神，培养学生自主学习能力、协同创新精神、工程技术应用能力，本书依据教育部高等学校电工电子基础课程教学指导委员会制定的教学基本要求，结合多年的教学经验，按照应用型本科人才培养模式改革的思路而编写。

“电工与电子技术基础”课程是高等工科院校非电类专业的一门技术基础课程。它的主要任务是使学生通过本课程的学习，获得电工电子技术必要的基本理论、基本知识和基本技能，了解电工电子技术应用和我国电工电子事业发展的概况，为今后学习和从事与本专业有关的工作打下一定的基础。为了面向21世纪数字化和专用集成电路的新时代和适应现代电子技术迅速发展的需要，本书加强了数字集成器件工程应用的内容。本课程和工程技术实践紧密结合，实践环节是它的一个重要组成部分，为此本书把实验部分作为一章编入其中。

“电工与电子技术基础”课程牵涉的内容广泛、概念多，为使学生更好地理解基本概念、掌握重点内容，本书在一些重点内容和容易混淆的概念处，通过页脚以“想一想”“问一问”“论一论”等形式给出了重点提示，在每章的最后以“判一判”“选一选”和“做一做”等形式给出了相应的习题。

本书是“电工与电子技术基础”课程的本科教材，供非电类专业使用，按32~80学时组织教学（不含实验），教师可根据学时、教学要求自主选择相应内容教学。

本书由五邑大学信息工程学院的五位老师合作完成。电工技术部分（第1~7章）由徐秀平、黄东编写，其中第1、2、6、7章由徐秀平编写，第3、4、5由黄东编写。电子技术部分（第8~16章）由项华珍、杨敏编写，其中第8~10、13~16章由项华珍编写，第11、12章由杨敏编写；实验部分（第17章）由刘海刚编写。全书由徐秀平统稿。

在本书的编写过程中，得到了五邑大学主管领导、信息工程学院领导和老师的大力支持，在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中难免有疏漏和不妥之处，恳请读者提出宝贵意见，编者不胜感激。意见可发至 lzfly_xxp@163.com 或 xiangjane100@163.com。

本书配有免费电子课件，欢迎选用本书作教材的老师登录 www.cmpedu.com 注册下载或发邮件到 xufan666@163.com 索取。

编 者

目 录

前言

第 1 章 直流电路 1

- 1.1 电路的概念及基本电量 1
 - 1.1.1 电路的组成与作用 1
 - 1.1.2 电路中的基本电量 3
 - 1.1.3 电源 6
- 1.2 电路的基本定律 9
 - 1.2.1 欧姆定律及电阻的串、并联 9
 - 1.2.2 基尔霍夫定律 14
- 1.3 电路的分析方法 17
 - 1.3.1 支路电流法 17
 - 1.3.2 电源等效变换法 18
 - 1.3.3 节点电压法 21
 - 1.3.4 叠加原理 24
 - 1.3.5 戴维南定理 27
- 判一判 31
- 选一选 31
- 做一做 32

第 2 章 单相正弦交流稳态电路 35

- 2.1 正弦交流电压与电流的参数 35
 - 2.1.1 正弦交流信号的表示 35
 - 2.1.2 正弦交流信号的三要素 36
- 2.2 正弦量的相量表示法 39
 - 2.2.1 复数及其表示 39
 - 2.2.2 正弦信号的复数表示法——
相量 41
- 2.3 电阻元件正弦交流稳态电路 44
 - 2.3.1 电压与电流的关系 44
 - 2.3.2 功率 45
- 2.4 电感元件的正弦交流稳态电路 45
 - 2.4.1 电压与电流的关系 45
 - 2.4.2 功率 47
- 2.5 电容元件的正弦交流稳态电路 48
 - 2.5.1 电压与电流的关系 48
 - 2.5.2 功率 49
- 2.6 RLC 正弦交流稳态电路 50
 - 2.6.1 欧姆定律及基尔霍夫定律的

相量形式 50

- 2.6.2 复数阻抗的串并联 55
- 2.6.3 正弦交流稳态电路的功率 58
- 2.6.4 正弦交流稳态电路的功率因数
提高方法 60
- 2.7 复杂正弦交流稳态电路的分析 62
 - 判一判 64
 - 选一选 65
 - 做一做 65

第 3 章 三相正弦交流稳态电路 69

- 3.1 三相正弦对称电源 69
 - 3.1.1 三相正弦对称电源的产生 69
 - 3.1.2 相电压与线电压的关系 70
- 3.2 三相电源的负载联结方式 71
 - 3.2.1 三相电源的负载分类 71
 - 3.2.2 三相电源负载的接法 72
- 3.3 负载星形联结时三相电路的分析
与计算 72
 - 3.3.1 三相对称负载的星形联结 72
 - 3.3.2 三相不对称负载的星形联结 75
- 3.4 负载三角形联结时三相电路的分析
与计算 78
 - 3.4.1 三相对称负载的三角形联结 79
 - 3.4.2 三相不对称负载的三角形联结 80
- 3.5 三相电路的功率 81
 - 判一判 86
 - 选一选 87
 - 做一做 87

第 4 章 一阶线性电路的暂态过程 89

- 4.1 暂态过程的换路及定律 89
 - 4.1.1 换路的概念及换路定律 89
 - 4.1.2 换路后电路初始值的计算 90
 - 4.1.3 换路后电路稳态值的计算 92
- 4.2 RC 电路的暂态过程 94
 - 4.2.1 RC 充电电路 94
 - 4.2.2 RC 放电电路 100
- 4.3 暂态过程的三要素法 103

4.4 矩形脉冲电源作用下的 RC 电路	107	6.4 三相异步电动机的使用	151
4.4.1 RC 微分电路	107	6.4.1 起动	151
4.4.2 RC 积分电路	108	6.4.2 三相异步电动机的反转控制	156
4.4.3 RC 耦合电路	109	6.4.3 三相异步电动机的调速	157
4.5 RL 电路的暂态过程分析	109	6.4.4 三相异步电动机的制动	158
判一判	112	判一判	159
选一选	113	选一选	159
做一做	113	做一做	160
第 5 章 单相变压器	116	第 7 章 三相异步电动机的继电接触	
5.1 概述	116	控制	161
5.1.1 变压器的用途及分类	116	7.1 常用低压电器	161
5.1.2 变压器的基本结构	117	7.1.1 手动电器	161
5.1.3 变压器的额定值	117	7.1.2 自动电器	162
5.1.4 变压器的型号	118	7.2 三相异步电动机的起动与停止控制	
5.2 变压器的工作原理	118	电路	165
5.3 变压器的作用	120	7.2.1 三相异步电动机的点动控制	165
5.4 变压器的运行特性	124	7.2.2 三相异步电动机的直接起动与	
5.4.1 变压器的外特性及电压变		停止控制电路	167
化率	124	7.3 三相异步电动机的正反转控制	
5.4.2 变压器的功率损耗与效率	125	电路	168
5.5 变压器绕组的同极性端及其连接	126	7.4 三相异步电动机的其他几种控制	169
5.5.1 变压器绕组的同极性端及其		7.4.1 异地控制	169
测定	126	7.4.2 行程控制	170
5.5.2 变压器绕组的连接	127	7.4.3 顺序控制	170
5.6 特种变压器	129	判一判	171
5.6.1 自耦变压器	129	选一选	171
5.6.2 互感器	130	做一做	171
5.6.3 行灯变压器	132	第 8 章 常用半导体器件	174
判一判	132	8.1 半导体	174
选一选	132	8.1.1 本征半导体	174
做一做	133	8.1.2 N 型半导体和 P 型半导体	175
第 6 章 三相异步电动机	135	8.2 PN 结及其单向导电性	176
6.1 三相异步电动机的基本结构和工作		8.2.1 PN 结的形成	176
原理	135	8.2.2 PN 结的单向导电性	177
6.1.1 三相异步电动机的基本结构	135	8.3 半导体二极管	178
6.1.2 三相异步电动机的工作原理	137	8.3.1 基本结构	178
6.1.3 三相异步电动机的转差率和		8.3.2 伏安特性	179
转速	141	8.3.3 主要参数	180
6.2 三相异步电动机的转矩特性和机		8.3.4 基本应用	181
械特性	142	8.4 特殊二极管	182
6.2.1 三相异步电动机的转矩特性	142	8.4.1 稳压二极管	182
6.2.2 三相异步电动机的机械特性	145	8.4.2 发光二极管	183
6.3 三相异步电动机铭牌上的数据	148		

8.4.3 光电二极管	183	9.7 多级放大电路	213
8.5 双极型晶体管	184	9.7.1 多级放大电路的组成及级间耦合 方式	213
8.5.1 结构	184	9.7.2 多级放大电路的计算	215
8.5.2 电流放大作用	185	9.7.3 单级阻容耦合放大电路的频率 特性	217
8.5.3 特性曲线	186	9.8 放大电路中的反馈	218
8.5.4 主要参数	188	9.8.1 反馈的基本概念和分类	218
8.6 场效应晶体管	189	9.8.2 负反馈类型的判断	219
8.6.1 增强型场效应晶体管	190	9.8.3 负反馈对放大电路性能的 影响	221
8.6.2 耗尽型场效应晶体管	191	判—判	223
8.6.3 P沟道 MOS管简介	191	选—选	223
判—判	192	做—做	224
选—选	192	第9章 基本放大电路	195
做—做	193	9.1 基本放大电路的组成	195
第9章 基本放大电路	195	9.1.1 放大电路的组成原则	195
9.1 基本放大电路的组成	195	9.1.2 放大电路的组成和各元件的 作用	196
9.1.1 放大电路的组成原则	195	9.1.3 放大电路的三种组态	196
9.1.2 放大电路的组成和各元件的 作用	196	9.1.4 放大电路中电压、电流的 表示	197
9.1.3 放大电路的三种组态	196	9.2 放大电路的静态分析	197
9.1.4 放大电路中电压、电流的 表示	197	9.2.1 直流通路和交流通路	197
9.2 放大电路的静态分析	197	9.2.2 近似估算法计算静态值	198
9.2.1 直流通路和交流通路	197	9.2.3 用图解法确定静态值	198
9.2.2 近似估算法计算静态值	198	9.3 放大电路的动态分析	200
9.2.3 用图解法确定静态值	198	9.3.1 输入和输出电压波形的分析	200
9.3 放大电路的动态分析	200	9.3.2 放大电路的非线性失真	201
9.3.1 输入和输出电压波形的分析	200	9.3.3 用微变等效电路法分析动态 工作情况	202
9.3.2 放大电路的非线性失真	201	9.4 静态工作点的稳定	205
9.3.3 用微变等效电路法分析动态 工作情况	202	9.4.1 温度对静态工作点的影响	205
9.4 静态工作点的稳定	205	9.4.2 分压偏置式电路	206
9.4.1 温度对静态工作点的影响	205	9.5 射极输出器	209
9.4.2 分压偏置式电路	206	9.5.1 电路结构	209
9.5 射极输出器	209	9.5.2 静态分析	209
9.5.1 电路结构	209	9.5.3 动态分析	209
9.5.2 静态分析	209	9.5.4 射极输出器的应用	210
9.5.3 动态分析	209	9.6 互补对称功率放大电路	210
9.5.4 射极输出器的应用	210	9.6.1 对功率放大电路的基本要求	211
9.6 互补对称功率放大电路	210	9.6.2 提高功率放大电路效率的主 要途径	211
9.6.1 对功率放大电路的基本要求	211	9.6.3 互补对称功率放大电路	212
9.6.2 提高功率放大电路效率的主 要途径	211	9.7 多级放大电路	213
9.6.3 互补对称功率放大电路	212	9.7.1 多级放大电路的组成及级间耦合 方式	213
9.7 多级放大电路	213	9.7.2 多级放大电路的计算	215
9.7.1 多级放大电路的组成及级间耦合 方式	213	9.7.3 单级阻容耦合放大电路的频率 特性	217
9.7.2 多级放大电路的计算	215	9.8 放大电路中的反馈	218
9.7.3 单级阻容耦合放大电路的频率 特性	217	9.8.1 反馈的基本概念和分类	218
9.8 放大电路中的反馈	218	9.8.2 负反馈类型的判断	219
9.8.1 反馈的基本概念和分类	218	9.8.3 负反馈对放大电路性能的 影响	221
9.8.2 负反馈类型的判断	219	判—判	223
9.8.3 负反馈对放大电路性能的 影响	221	选—选	223
判—判	223	做—做	224
选—选	223	第10章 集成运算放大器	227
做—做	224	10.1 概述	227
第10章 集成运算放大器	227	10.2 直接耦合放大电路的零点漂移 问题	228
10.1 概述	227	10.3 差动放大电路	228
10.2 直接耦合放大电路的零点漂移 问题	228	10.3.1 电路结构特点	228
10.3 差动放大电路	228	10.3.2 零点漂移的抑制	228
10.3.1 电路结构特点	228	10.3.3 静态分析	229
10.3.2 零点漂移的抑制	228	10.3.4 动态分析	230
10.3.3 静态分析	229	10.3.5 单端输入	232
10.3.4 动态分析	230	10.4 集成运算放大器简介	234
10.3.5 单端输入	232	10.4.1 集成运放内部电路简介	234
10.4 集成运算放大器简介	234	10.4.2 集成运放封装、引脚及电路 符号	234
10.4.1 集成运放内部电路简介	234	10.4.3 主要参数	235
10.4.2 集成运放封装、引脚及电路 符号	234	10.4.4 理想运算放大器及分析依据	236
10.4.3 主要参数	235	10.5 模拟信号的运算电路	237
10.4.4 理想运算放大器及分析依据	236	10.5.1 比例运算电路	237
10.5 模拟信号的运算电路	237	10.5.2 加法运算电路	239
10.5.1 比例运算电路	237	10.5.3 减法运算电路	240
10.5.2 加法运算电路	239	10.5.4 微分、积分运算电路	241
10.5.3 减法运算电路	240	10.6 电压比较器	242
10.5.4 微分、积分运算电路	241	10.6.1 电压比较器电路及原理	242
10.6 电压比较器	242	10.6.2 电压比较器的应用	243
10.6.1 电压比较器电路及原理	242	判—判	244
10.6.2 电压比较器的应用	243	选—选	244
判—判	244	做—做	245
选—选	244	第11章 小功率直流稳压电路	248
做—做	245	11.1 概述	248
第11章 小功率直流稳压电路	248		
11.1 概述	248		

11.2 单相整流电路	248	13.1.3 触发器逻辑功能的分类及特性 方程表示	307
11.2.1 单相半波整流电路	249	13.2 寄存器和移位寄存器	308
11.2.2 单相桥式整流电路	250	13.2.1 寄存器	308
11.3 滤波电路	252	13.2.2 移位寄存器	308
11.3.1 电容滤波电路	252	13.3 计数器	310
11.3.2 电感滤波电路	254	13.3.1 异步计数器	310
11.3.3 复式滤波电路	255	13.3.2 同步计数器	313
11.4 倍压整流电路	256	13.3.3 中规模集成计数器	315
11.5 直流稳压电源	257	13.3.4 任意进制(N 进制)计数器	317
11.5.1 硅稳压管稳压电路	257	判一判	321
11.5.2 串联型稳压电路	257	选一选	321
11.5.3 三端集成稳压电源	258	做一做	322
判一判	260	第14章 555定时器及其应用	326
选一选	260	14.1 555定时器的结构及工作原理	326
做一做	260	14.1.1 555定时器的电路结构	326
第12章 门电路和组合逻辑电路	262	14.1.2 555定时器的引脚用途和工作 原理	327
12.1 逻辑代数基础	262	14.2 用555定时器构成施密特触发器	328
12.1.1 逻辑代数的基本运算	262	14.2.1 施密特触发器的特点	328
12.1.2 逻辑函数的表示方法及其相互 转换	264	14.2.2 由555定时器构成的施密特触 发器电路及工作原理	328
12.1.3 逻辑代数的公式	266	14.2.3 施密特触发器的应用	329
12.1.4 逻辑函数的公式法化简	268	14.3 用555定时器构成单稳态触发器	330
12.1.5 逻辑函数的卡诺图化简	269	14.3.1 单稳态触发器的特点	330
12.2 基本逻辑门电路	274	14.3.2 由555定时器构成的单稳电路及 工作原理	330
12.2.1 分立元件门电路	274	14.3.3 单稳态触发器的应用	331
12.2.2 TTL集成门电路	275	14.4 用555定时器构成多谐振荡器	332
12.2.3 CMOS集成门电路	281	14.4.1 多谐振荡器的特点	332
12.2.4 TTL门和CMOS门的使用 问题	284	14.4.2 由555定时器构成的多谐振荡器 电路及工作原理	333
12.3 组合逻辑电路的分析与设计	285	14.4.3 振荡频率的计算	333
12.3.1 组合逻辑电路的分析	285	14.4.4 应用	334
12.3.2 组合逻辑电路的设计	286	判一判	334
12.4 常用组合逻辑部件及应用	288	做一做	335
12.4.1 加法器	288	第15章 模拟量和数字量的转换	336
12.4.2 译码器	289	15.1 概述	336
12.4.3 数据选择器	294	15.2 D/A转换器	336
判一判	297	15.2.1 $R-2R$ 倒T形网络D/A转换器的 基本原理	337
选一选	298	15.2.2 集成D/A转换器AD7520	338
做一做	298	15.3 A/D转换器	341
第13章 触发器和时序逻辑电路	301		
13.1 触发器	301		
13.1.1 基本RS触发器	301		
13.1.2 时钟控制的触发器	303		

15.3.1 采样/保持(S/H)电路	341	16.3.1 位扩展方式	352
15.3.2 量化及编码	342	16.3.2 字扩展方式	352
15.3.3 逐次渐近型A/D转换器	343	填一填	353
15.3.4 A/D转换器的主要技术指标	343	做一做	353
填一填	344	第17章 实验	355
做一做	344	实验1 基尔霍夫定律	355
第16章 半导体存储器	345	实验2 叠加原理和戴维南定理	357
16.1 只读存储器	345	实验3 RLC串联谐振电路	360
16.1.1 掩膜ROM	346	实验4 一阶RC电路	361
16.1.2 可编程ROM	348	实验5 单管交流放大电路	364
16.1.3 可改写ROM	348	实验6 集成运算放大器	367
16.1.4 ROM的应用	349	实验7 门电路和译码器的功能测试和 应用	370
16.2 随机存取存储器	351	实验8 计数器的功能测试及应用	373
16.2.1 RAM的分类	351	参考文献	377
16.2.2 RAM的结构和工作原理	351		
16.3 存储器容量的扩展	352		

第1章 直流电路

本章要点：本章首先介绍直流电路的概念和定律，之后给出直流电路的几种分析方法。本章重点是掌握直流电路中电压、电流、功率的计算，学会利用支路电流法、节点电压法、叠加原理和戴维南定理分析和求解电路，了解电路中电压、电流参考方向的意义，电位的概念和计算，以及负载和电源的判别。

你知道吗？

电源除了以电压表示的电压源之外，还有以电流表示的电流源，而且电源不一定都产生电能，也有可能消耗电能，如给手机电池充电的过程。

1.1 电路的概念及基本电量

1.1.1 电路的组成与作用

1. 电路的概念、组成及作用

根据实际需要将电工设备和元器件按一定方式连接起来，实现某种功能，就称为电路。如电力系统输电电路，包括发电机、变压器、输电线和用户，其示意图如图 1-1 所示。输电电路的作用是电能的转换和传输，即将其他形式的能（如热能、风能、核能等）转换成电能，经过变压器、输电线、配电所送给用户，用户又将电能转换成其他形式的能。

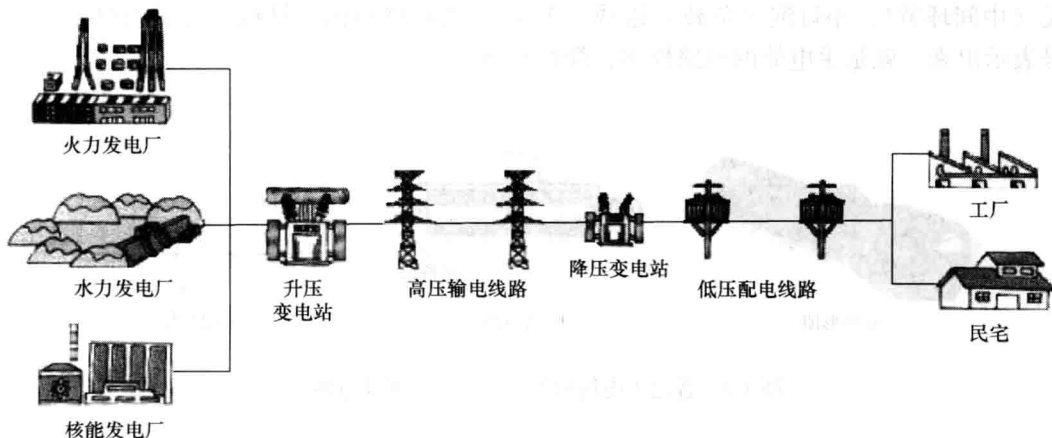


图 1-1 电力系统输电电路示意图

在电子电路中，如图 1-2 所示为无线麦克风及其电路，它包括传声器、放大电路和扬声

问一问：信号源既然属于电源，能否为电路提供电能呢？答：不能。

器，其作用是信号的转换和处理，即将声音信号转换成电信号，通过放大电路将电信号放大后驱动扬声器，再由扬声器转换成声音信号，这时的声音比没有麦克风要高很多。

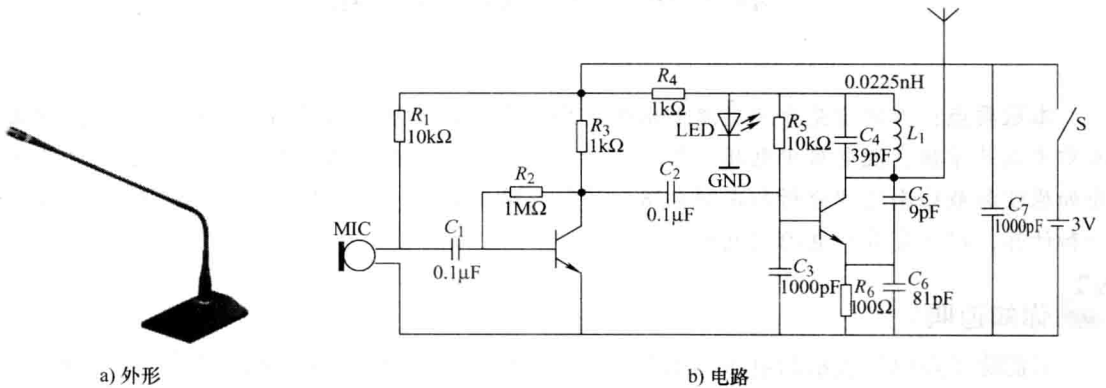


图 1-2 无线麦克风及其电路

电路的形式是多种多样的，但无论是简单的还是复杂的，其组成都可总括为电源（或信号源）、负载及中间环节。电源是激励，给电路提供能量，产生电功率。它将其他形式的能转化为电能，如发电机、蓄电池、太阳能电池等。信号源是传感器将非电量信号变换成的电信号，是需要处理的信号。负载取用电能、吸收电功率，如电灯、电炉、电动机、扬声器等。而中间环节则是连接电源和负载的部分，如导线、开关、变压器、放大电路等。

2. 电路模型

图 1-3a 所示为普通的手电筒，图 1-3b 所示为其剖面图，它是由电池（电源）、导线和开关（中间环节）、小灯泡（负载）组成。图 1-3c 所示将电池、导线、开关及灯泡用特定符号表示出来，就是手电筒的电路模型，简称电路。

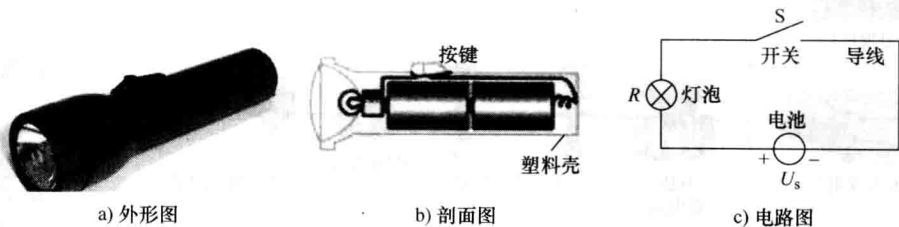


图 1-3 普通手电筒的外形图、剖面图及电路图

一般所说的电路都是电路模型，其中的电路元器件都是理想化的。所谓的理想化就是只考虑元件的主要特性，例如，一个电感线圈实际电路为电阻与纯电感相串联，如图 1-4 所示。但电感的电阻值很小，可以忽略它的影响，将电感线圈看成纯电感元件。而对于电容元件，实际电路为电阻与纯电容元件相并联，如图 1-5 所示。由于其电阻值非常大，故可将电阻看作开路来处理。

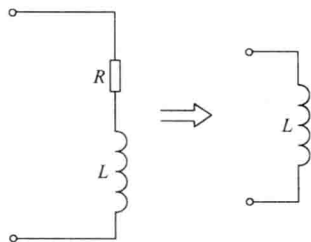


图 1-4 电感元件等效电路

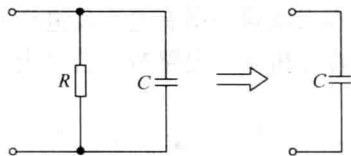


图 1-5 电容元件等效电路

在电路中，每种元件都有自己的符号及参数。图 1-6 中给出了电路、电子电路中的某些元件的符号。

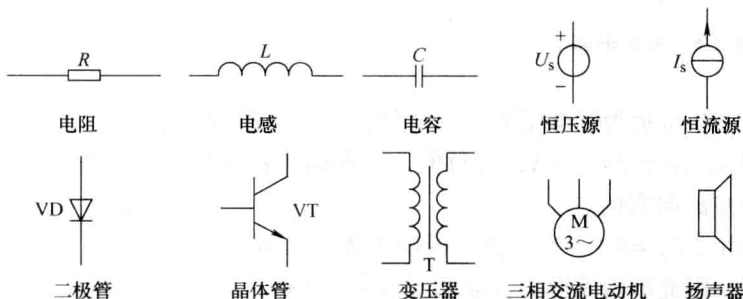


图 1-6 电路中元件的符号

1.1.2 电路中的基本电量

1. 电流

在物理学中定义，电荷或带电粒子有规则的定向移动形成电流，在数值上等于单位时间内通过某一横截面的电荷量，即

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1-1)$$

电流的单位为库仑每秒，称为安培（A）。若电流大小不随时间变化，则称为直流，用 DC（Direct Current）表示；若电流大小随时间改变，则称为交流，用 AC（Alternating Current）表示。

在单电源电路中，电流的实际方向是由电源的“+”极流出，如图 1-7 所示。但对于复杂电路，电流实际方向很难确定，如在图 1-8 所示电路中，通过电阻 R_1 、 R_2 的电流实际方向就很难确定。因此，在电路的分析和计算过程中，人为地设定某元件中电流的方向，称为参考方向。如在图 1-8 中，设 I_1 和 I_2 的参考方向为实箭头所指方向（即 I_1 由左流向右， I_2 由右流向左），如图 1-9 所示。确定参考方向后，计算所得的电流值会有正负。若电流值为正，说明所设的方向与实际方向相同；若电流值为负，说明所设的方向与实际方向相反。

电流的参考方向可以用箭头表示，也可以用下标表示。如在图 1-9 中， I_1 的方向也可写成 I_{ab} ，表明所设 I_1 的方向是由 a 流向 b，且 $I_{ab} = -I_{ba}$ 。

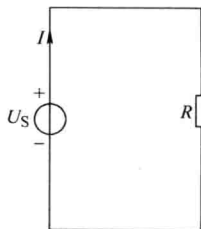


图 1-7 电流的实际方向

注意:

- 1) 本书电路中所有电流及电压的方向均为参考方向。
- 2) 在分析某一电路时, 若设定了电流或电压的参考方向后, 则不能随意改变。

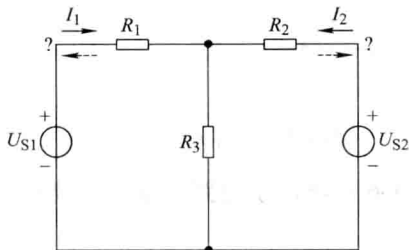


图 1-8 复杂电路

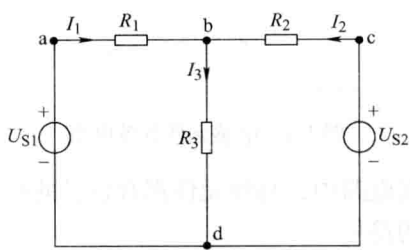


图 1-9 复杂电路中电流的参考方向

例 1-1 图 1-10 所示为某电路的一个电阻, 说明电流的实际方向。

解: 对于图 a, 由于 $I = -4\text{A}$, 为负值, 说明电流的实际方向和参考方向相反, 因此电流实际方向是由左流向右的。

对于图 b, 由于 $I_{ab} = 4\text{A}$, 为正值, 说明电流的实际方向和参考方向相同, 因此电流实际方向是由 a 流向 b 的。

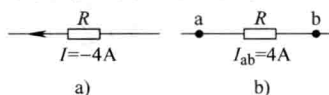


图 1-10 例 1-1 的电路

2. 电位与电压

若某电路中有电流流过, 第一要形成电流的通路, 第二必须有电位差, 即电压, 某点的电位是该点相对参考点 (即零电位点) 之间的电压, 电压与电位的单位都是伏特 (V)。在图 1-9 中, 若设 d 点为电位参考点, 即电位 $V_d = 0$, 并用符号 “ \perp ” 标在该点上, 如图 1-11 所示。则其他点的电位为

$$\begin{aligned} V_a &= U_{ad} & V_b &= U_{bd} \\ V_c &= U_{cd} \end{aligned}$$

注意: 参考点设定不同, 电路中各点的电位也不同, 但两点之间的电压是不变的。

例 1-2 在图 1-11 中, 若 $V_a = 10\text{V}$, $V_b = 4\text{V}$, $V_c = 15\text{V}$ 。①求电压 U_{ab} 、 U_{bc} 、 U_{ac} 、 U_{ad} 、 U_{bd} 、 U_{cd} ; ②若将参考点改为 a 点, 再求 b、c、d 点的电位。

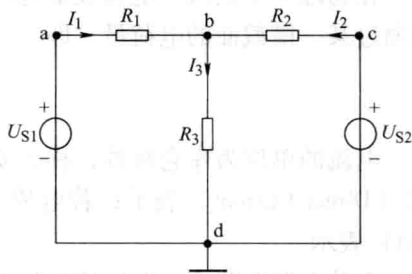


图 1-11 电路中的电压与电位

解: ①对于图 1-11 所示电路, d 点为电位参考点, 即电位 $V_d = 0$, 则

$$U_{ab} = V_a - V_b = 10\text{V} - 4\text{V} = 6\text{V}$$

$$U_{bc} = V_b - V_c = 4\text{V} - 15\text{V} = -11\text{V}$$

$$U_{ac} = V_a - V_c = 10\text{V} - 15\text{V} = -5\text{V}$$

$$U_{ad} = V_a - V_d = 10\text{V} - 0\text{V} = 10\text{V}$$

$$U_{bd} = V_b - V_d = 4\text{V} - 0\text{V} = 4\text{V}$$

$$U_{cd} = V_c - V_d = 15\text{V} - 0\text{V} = 15\text{V}$$

温馨提示: 一般电源参考点选择在电压源负极相交的点。

②若设参考点为 a 点, 即电位 $V_a = 0$, 则

$$V_b = U_{ba} = -U_{ab} = -6V$$

$$V_c = U_{ca} = -U_{ac} = 5V$$

$$V_d = U_{da} = -U_{ad} = -10V$$

电压的实际极性由高电位指向低电位, 如在例 1-2 中, $U_{ab} = 6V$, 说明 a 点电位高于 b 点电位; $U_{bc} = -11V$, 说明 b 点电位低于 a 点电位。但在复杂的电路中, 电压的实际方向也很难确定, 因此有时在分析电路时, 要先设定电压的参考极性。设定后, 若所得电压值为正, 则表明所设极性与实际极性相同; 若所得电压值为负, 说明所设的极性与实际极性相反。

电压的极性和用“+”“-”及下标表示。为了使电路简化, 便于读图, 有时恒压源不画出, 而是用电位值表示出来。图 1-12 所示电路即为图 1-11 所示电路的简化电路。

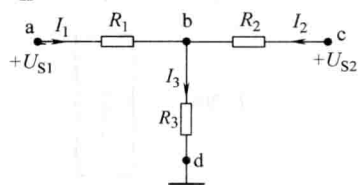


图 1-12 图 1-11 的简化电路

例 1-3 图 1-13 中的元件为电路中的某个电阻, 试说明实际电位的高低。

解: 根据图 1-13 所示的参考极性, 且 $U = U_{ab} = -10V$, 故实际极性与所给的参考极性相反, 即 $U_{ba} = 10V$, b 点电位高于 a 点电位。

例 1-4 简化电路如图 1-14 所示, 试画出带电源的原电路。

解: 从图 1-14 所示电路可以看出, a 点和 c 点与参考地之间有恒压源, 其原电路如图 1-15 所示。

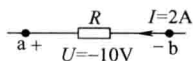


图 1-13 例 1-3 的电路

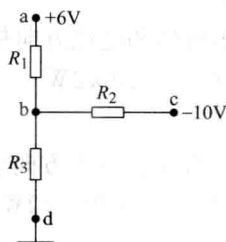


图 1-14 例 1-4 的电路

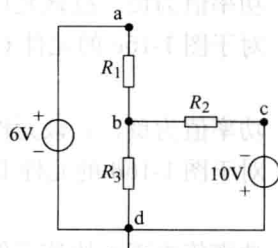


图 1-15 例 1-4 的原电路

3. 功率

一个电路元件两端电压与电流的乘积, 即为该元件的功率, 单位为瓦特 (W)。电阻类元件是消耗功率的, 其值可由下面的公式求得

$$P = UI = I^2 R = \frac{U^2}{R} \quad (1-2)$$

可以看出, 电阻元件消耗的功率总是正值。为了区别消耗功率的元件, 将产生功率的元件功率值定义为负, 即

$$P = -UI \quad (1-3)$$

由于电压的参考极性和电流的参考方向不一定相同, 如图 1-13 所示, 电压参考极性是由 a 指向 b, 电流参考方向是由 b 流向 a, 利用公式 (1-2) 计算得

$$P = UI = (-10) \times 2W = -20W$$

这是与电阻元件消耗功率为正值相矛盾的, 因此在计算元件功率时, 应考虑元件两端电

压参考极性与电流参考方向是否相同。如果元件两端电压参考极性与电流参考方向相同, 采用 $P = UI$; 如果元件两端电压参考极性与电流参考方向相反, 则采用 $P = -UI$ 。

例 1-5 电路中某些元件的电压与电流的极性、方向和数值如图 1-16 所示, 试求元件的功率, 并判断该元件是消耗功率还是发出功率。

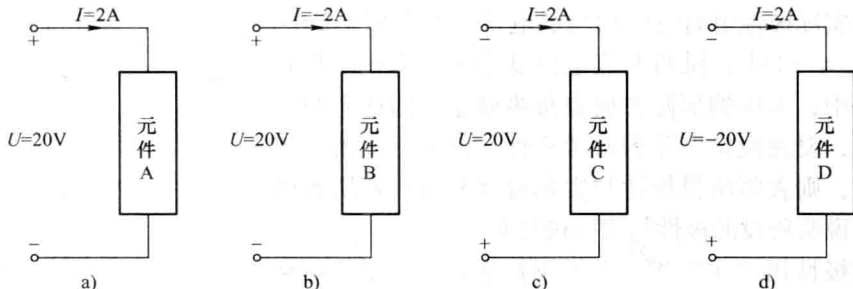


图 1-16 例 1-5 的元件

解: 对于图 1-16a 的元件 A, 由于电压极性和电流方向相同, 则

$$P = UI = 20 \times 2 \text{ W} = 40 \text{ W}$$

功率值为正, 故该元件消耗功率。

对于图 1-16b 的元件 B, 电压极性和电流方向也是相同的, 则

$$P = UI = 20 \times (-2) \text{ W} = -40 \text{ W}$$

功率值为负, 故该元件发出功率。

对于图 1-16c 的元件 C, 由于电压极性和电流方向相反, 则

$$P = -UI = -20 \times 2 \text{ W} = -40 \text{ W}$$

功率值为负, 故该元件发出功率。

对于图 1-16d 的元件 D, 由于电压极性和电流方向也是相反的, 故

$$P = -UI = -(-20) \times 2 \text{ W} = 40 \text{ W}$$

功率值为正, 故该元件消耗功率。

1.1.3 电源

1. 两种电源模型

电源的电路模型有两种: 电压源和电流源。电压源以电压的形式表现出来, 如常用的化学电池及实验室用的稳压电源, 如图 1-17 所示。而电流源是以电流的形式表现出来的, 如驱动 LED 的电源即为电流源。实验室用的电流源及其电路模型如图 1-18 所示。

如果图 1-17b 的电压源电路中, 内阻 $R_0 = 0$, 则为恒压源, 也称理想电压源, 因为电源端电压 $U = U_s$, 而 U_s 是恒定的, 与所接电路无关。一般的化学电池或实验室用的电压源, 由于内阻比较小, 可以看成是恒压源。但由于实际内阻的存在, 使用时电源两端电压会下降, 因此手机电池是需要不断充电的。对于图 1-18b 的电流源电路中, 若 $R_0 = \infty$, 则为恒流源, 也称理想电流源, 因为电源输出电流 $I = I_s$, 而 I_s 是恒定的, 与所接电路无关。

想一想: 电源一定是产生功率吗? 手机电池充电是作为电源还是负载?



图 1-17 常用电压源及其电路模型



图 1-18 实验室中的电流源及其电路模型

2. 电源的三种工作状态

(1) 带负载工作状态

若电源输出端接其他元件构成电流通路，则称为电源带负载工作方式或带负载工作状态，其负载可用等效电阻 R_L 代替，如图 1-19 所示。

电源带负载时，输出电流不为零，电源输出功率。对于图 1-19a 所示的电压源，恒压源输出功率为

$$P_s = -U_s I$$

电源内阻消耗的功率为

$$P_o = I^2 R_o$$

负载消耗的功率为

$$P = UI = I^2 R_L$$

则根据能量守恒定律有

$$P_s + P_o + P = 0$$

或

$$\sum P = 0$$

即在任何电路输出功率与消耗功率相等，这就是电路的功率守恒定律。

同理，对于图 1-19b 所示的电流源，各元件的功率为

恒流源输出功率

$$P_s = -UI_s$$

电源内阻消耗的功率为

$$P_o = (I_s - I)^2 R_o$$

电源输出功率亦即负载消耗的功率为

$$P = UI = I^2 R_L$$

且

$$P_s + P_o + P = 0$$

(2) 开路（空载）工作状态

在图 1-19 所示电源带负载电路中，若 $R_L = \infty$ ，则为电源开路或空载工作状态，其电路如图 1-20 所示。很显然，不论是电压源还是电流源，输出电流均为零，即 $I = 0$ 。但对于图 1-20a 所示的电压源，由于内阻两端电压为零，故电源端电压 $U = U_s$ ，电源输出功率 $P = 0$ ，

内阻功率 $P_o = I^2 R_o = 0$ ，电源内部不消耗功率。而图 1-20b 所示的电流源，端电压 $U = I_s R_o$ 。注意：由于电流源内阻比较大，此时端电压 U 会很高。电流源开路时输出功率 $P = UI = 0$ ，但恒流源与内阻 R_o 构成回路，恒流源产生的功率 $P_s = -UI_s$ ，消耗在内阻 R_o 上，其功率为 $P_o = I_s^2 R_o$ ，故电流源开路时内部是消耗功率的。

(3) 短路工作状态

在图 1-19 所示的电源带负载电路中，若 $R_L = 0$ ，即用短路线代替，则为电源短路工作状态，其电路如图 1-21 所示。

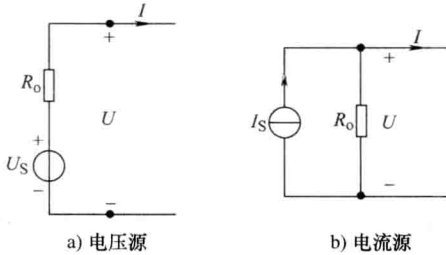


图 1-20 电源开路工作状态

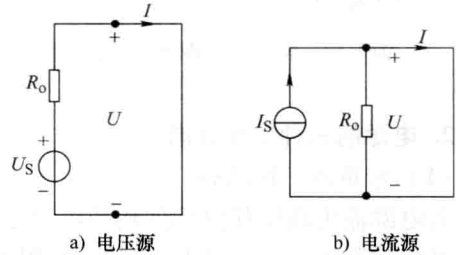


图 1-21 电源短路工作状态

在电源的短路工作状态中，不论是电压源还是电流源输出电压均为零，即 $U = 0$ 。对于图 1-21a 所示的电压源，输出电流 $I = U_s / R_o$ ，称为短路电流。而且由于电压源内阻比较小，此电流很大，所以一般电压源不准将输出端短路，否则，会烧毁电源。此时电压源输出功率 $P = -U_s I \neq 0$ ，内阻功率 $P_o = I^2 R_o$ ，故电压源短路时内部是消耗功率的，电压源输出功率消耗在内阻 R_o 上。而图 1-21b 所示的电流源，输出电流 $I = I_s$ 。电源输出功率 $P = I_s U = 0$ ，内阻功率 $P_o = I^2 R_o = 0$ ，电流源短路时内部不消耗功率。

例 1-6 电压源电路如图 1-19a 所示，若 $U_s = 10\text{V}$ ， $R_o = 0.1\Omega$ ， $R_L = 3.9\Omega$ ， $I = 2.5\text{A}$ ，试求：①电源端电压及各元件的功率，并验证功率平衡；②开路情况下的输出电压 U ；③短路情况下的短路电流。

解：①在图 1-19a 中，电源端电压为

$$U = IR_L = 2.5 \times 3.9\text{V} = 9.75\text{V}$$

恒压源输出功率为

$$P_s = -U_s I = -10 \times 2.5\text{W} = -25\text{W}$$

电源内阻消耗的功率为

$$P_o = I^2 R_o = 2.5^2 \times 0.1\text{W} = 0.625\text{W}$$

负载消耗的功率为

$$P = UI = I^2 R_L = 2.5^2 \times 3.9\text{W} = 24.375\text{W}$$

故有 $P_s + P_o + P = 0$ ，功率平衡。

②开路情况下，由于 $I = 0$ ，内阻两端电压为零，输出电压 $U = U_s = 10\text{V}$ ；

③短路情况下，由于 $U = 0$ ，故短路电流 $I = U_s / R_o = 100\text{A}$ ，电流非常大，故电压源一般情况下不准短路。

例 1-7 电流源电路如图 1-19b 所示，若 $I_s = 100\text{mA}$ ， $R_o = 990\Omega$ ， $R_L = 10\Omega$ ， $I = 99\text{mA}$ ，试求：