

★ 高等学校教材

# 电工与电子技术

主编 高玉良

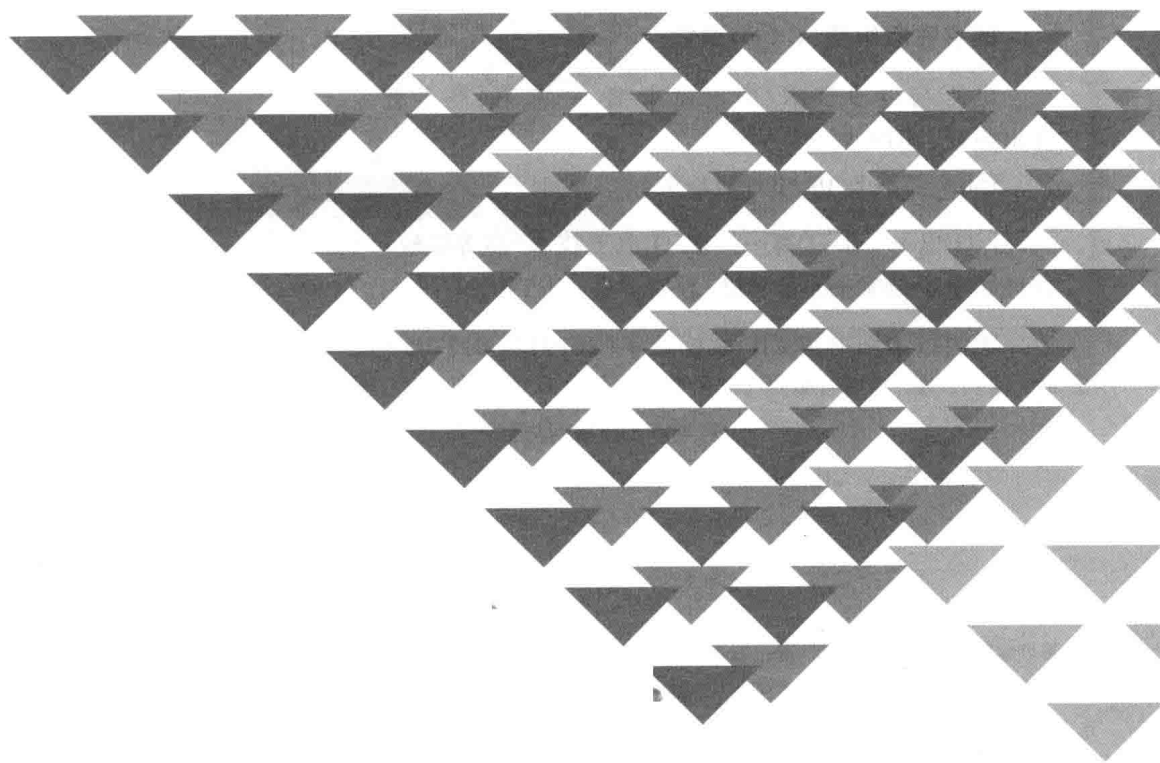
高等教育出版社

★ 高等学校教材

# 电工与电子技术

主编 高玉良

副主编 孙士平 付青青



高等教育出版社·北京

## 内容简介

本教材参照教育部高等学校电子电气基础课程教学指导委员会最新制订的“电工学课程教学基本要求”编写。

全书分电工技术和电子技术两部分。电工技术部分包括电路的基本定律和基本分析方法、一阶电路的暂态分析、正弦交流电路、三相电路、磁路和变压器、交流异步电动机及控制共六章；电子技术部分包括常用半导体器件、放大电路初步、信号放大与处理电路、直流稳压电源、门电路和组合逻辑电路、触发器和时序逻辑电路、信号产生电路、传感器与信号转换电路共八章。为了让读者了解电子技术的最新发展，第15章专门介绍了EDA技术、EWB电子电路仿真和可编程器件的应用。

本书可作为普通高等学校本科非电类专业电工学或电工与电子技术课程的教材，也可供相关工程技术人员和一般读者自学使用。

## 图书在版编目(CIP)数据

电工与电子技术/高玉良主编.--北京:高等教育出版社,2019.3

ISBN 978-7-04-051251-9

I. ①电… II. ①高… 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(2019)第012705号

策划编辑 孙琳  
插图绘制 于博

责任编辑 孙琳  
责任校对 陈杨

封面设计 于文燕  
责任印制 耿轩

版式设计 徐艳妮

出版发行 高等教育出版社  
社址 北京市西城区德外大街4号  
邮政编码 100120  
印刷 北京市鑫霸印务有限公司  
开本 787mm×1092mm 1/16  
印张 24.25  
字数 590千字  
购书热线 010-58581118  
咨询电话 400-810-0598

网 址 <http://www.hep.edu.cn>  
<http://www.hep.com.cn>  
网上订购 <http://www.hepmall.com.cn>  
<http://www.hepmall.com>  
<http://www.hepmall.cn>

版次 2019年3月第1版  
印次 2019年3月第1次印刷  
定 价 45.00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

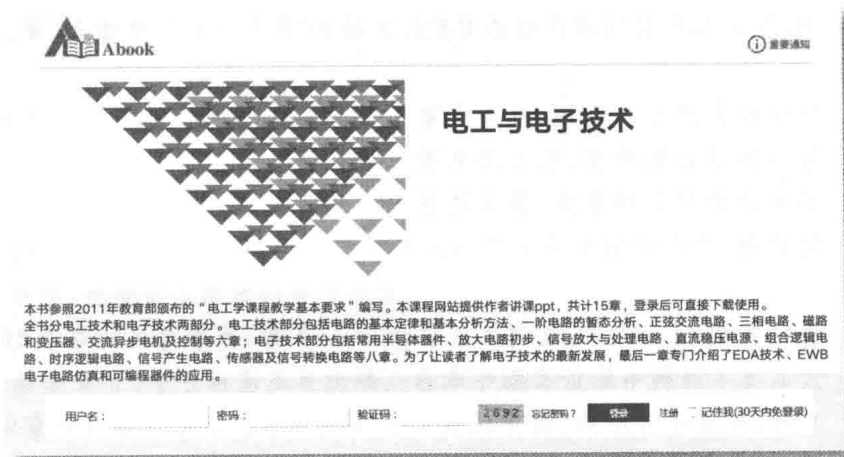
版权所有 侵权必究

物料号 51251-00

# 电工与电子技术

高玉良

- 1 计算机访问<http://abook.hep.com.cn/1254311>, 或手机扫描二维码、下载并安装 Abook 应用。
- 2 注册并登录, 进入“我的课程”。
- 3 输入封底数字课程账号(20位密码, 刮开涂层可见), 或通过 Abook 应用扫描封底数字课程账号二维码, 完成课程绑定。
- 4 单击“进入课程”按钮, 开始本数字课程的学习。



课程绑定后一年为数字课程使用有效期。受硬件限制, 部分内容无法在手机端显示, 请按提示通过计算机访问学习。

如有使用问题, 请发邮件至[abook@hep.com.cn](mailto:abook@hep.com.cn)。



<http://abook.hep.com.cn/1254311>

# 前言

本教材参照教育部高等学校电子电气基础课程教学指导委员会最新制订的“电工学课程教学基本要求”编写。

全书分电工技术和电子技术两部分。电工技术部分包括电路的基本定律和基本分析方法、电路的暂态分析、正弦交流电路、三相电路、磁路与变压器、交流异步电动机及控制共六章；电子技术部分包括常用半导体器件、放大电路初步、信号放大与处理电路、直流稳压电源、门电路和组合逻辑电路、触发器和时序逻辑电路、信号产生电路、传感器与信号转换电路共八章。为了让读者了解电子技术的最新发展，第15章专门介绍了EDA技术、EWB电路仿真软件及其应用、模拟及数字可编程器件及其应用。

与国内同类教材相比，本教材对电子技术部分的内容作了重大调整：模拟电子技术部分大幅压缩了分立元件放大电路的内容，对晶体管放大电路只作了简单的介绍，较系统地介绍以集成运算放大器为基本元件的放大、运算、信号处理、信号产生等模拟电路；数字电子技术部分压缩了门电路、触发器和计数器内部结构的内容，注重各种数字集成电路的外特性和应用，使教材内容对非电类专业学生更具实用性，也降低了课程的学习难度。

本书第1~4章、7~10章、15章由高玉良编写；第5~6章由孙士平编写；第11~14章由付青青编写；杨顺辽、蔡卫菊编写了部分章节，全书由高玉良统稿。在本书编写过程中得到了长江大学教务处、长江大学电工电子国家级实验教学示范中心和电信学院的支持，得到了吴爱平、杨友平、覃红英等老师的帮助，在此表示感谢。武汉工程大学熊俊俏教授仔细审阅了本书的全稿，提出了许多很好的修改意见，对此谨致以衷心的感谢。由于编者水平有限，书中难免存在缺点和错误，恳请使用本书的教师和学生提出意见和建议，以便今后不断改进。作者 E-mail: 451606354@qq.com

本书相关讲义、教学资源下载学习，请访问本书配套网站。

编者

2018年3月

# 目录

第 1 章 电路的基本定律和基本分析方法	1
1.1 电路的组成及基本物理量	1
1.1.1 电路和电路模型	1
1.1.2 电流、电压和电位	3
1.1.3 电功率和电能	5
思考与练习	6
1.2 电路的基本元件	6
1.2.1 电阻元件	6
1.2.2 电感元件	7
1.2.3 电容元件	8
1.2.4 电压源	9
1.2.5 电流源	10
1.2.6 受控源	12
思考与练习	12
1.3 基尔霍夫定律	13
1.3.1 基尔霍夫电流定律	13
1.3.2 基尔霍夫电压定律	15
思考与练习	16
1.4 基本元件的串联与并联	17
1.4.1 无源元件的串联与并联	17
1.4.2 电源的串联与并联	20
思考与练习	21
1.5 电路的工作状态	21
1.5.1 开路	21
1.5.2 短路	21
1.5.3 负载状态	22
思考与练习	23
1.6 电路的基本分析方法	23
1.6.1 支路电流法	23
1.6.2 实际电源两种模型的等效变换	24
1.6.3 叠加定理	26
1.6.4 等效电源定理	27
思考与练习	30
1.7 应用实例——扩音系统中扬声器的选用与连接	30
本章小结	31
习题	33
第 2 章 电路的暂态分析	37
2.1 换路定则与初始值的计算	37
2.1.1 换路定则	37
2.1.2 初始值的计算	38
思考与练习	39
2.2 一阶电路的零输入响应和零状态响应	39
2.2.1 一阶电路的零输入响应	39
2.2.2 一阶电路的零状态响应	43
思考与练习	45
2.3 一阶电路的全响应及三要素分析法	45
思考与练习	47
2.4 应用实例——闪烁警示灯	47
本章小结	48
习题	48
第 3 章 正弦交流电路	51
3.1 正弦交流电的基本概念和相量表示	51
3.1.1 正弦量的三要素	51
3.1.2 正弦量的相量表示	54
思考与练习	58
3.2 正弦电路中的电阻、电感和电容	58
3.2.1 电阻元件的交流电路	59
3.2.2 电感元件的交流电路	60
3.2.3 电容元件的交流电路	62
思考与练习	64
3.3 基尔霍夫定律的相量形式	65
思考与练习	67

3.4 阻抗的串联与并联 .....	67	4.5.1 电力系统 .....	100
3.4.1 阻抗 .....	67	4.5.2 电源插座和插头的使用 .....	101
3.4.2 阻抗的串并联 .....	68	本章小结 .....	101
思考与练习 .....	69	习题 .....	101
3.5 正弦交流电路的功率 .....	69	<b>第 5 章 磁路与变压器 .....</b>	<b>103</b>
3.5.1 平均功率和功率因数 .....	69	5.1 磁路的基础知识 .....	103
3.5.2 无功功率和视在功率 .....	71	5.1.1 磁路的基本物理量 .....	103
3.5.3 功率因数的提高 .....	72	5.1.2 磁路的基本定律 .....	104
思考与练习 .....	74	思考与练习 .....	107
3.6 谐振电路 .....	74	5.2 交流铁心线圈电路 .....	107
3.6.1 串联谐振 .....	74	5.2.1 交流磁路的恒磁通公式 .....	108
3.6.2 并联谐振 .....	77	5.2.2 交流铁心线圈中的功率损耗 .....	108
3.7 非正弦交流电路 .....	78	思考与练习 .....	109
3.7.1 非正弦周期量的分解 .....	78	5.3 变压器 .....	109
3.7.2 非正弦周期量的有效值和 平均功率 .....	80	5.3.1 理想变压器 .....	109
3.7.3 非正弦周期电路的计算 .....	82	5.3.2 变压器的基本工作原理和结构 .....	110
思考与练习 .....	83	5.3.3 特殊变压器 .....	114
3.8 应用实例——低压灯泡在 220 V 电源上的使用 .....	83	思考与练习 .....	116
本章小结 .....	84	5.4 应用实例 .....	116
习题 .....	85	5.4.1 自耦降压起动 .....	116
<b>第 4 章 三相电路 .....</b>	<b>88</b>	5.4.2 电磁铁在电路自动保护中的 应用 .....	117
4.1 三相电源 .....	88	本章小结 .....	118
4.1.1 三相电压的产生 .....	88	习题 .....	118
4.1.2 三相电源的连接方式 .....	89	<b>第 6 章 交流异步电动机及控制 .....</b>	<b>120</b>
思考与练习 .....	90	6.1 三相异步电动机的结构和工作 原理 .....	120
4.2 三相负载 .....	90	6.1.1 三相异步电动机的结构 .....	120
4.2.1 三相负载的星形联结 .....	91	6.1.2 三相异步电动机的工作原理 .....	121
4.2.2 三相负载的三角形联结 .....	92	思考与练习 .....	126
思考与练习 .....	95	6.2 三相异步电动机的特性 .....	126
4.3 三相电路的功率 .....	95	6.2.1 三相异步电动机的电路特性 .....	126
思考与练习 .....	97	6.2.2 三相异步电动机的转矩和机械 特性 .....	128
4.4 安全用电 .....	97	思考与练习 .....	131
4.4.1 电流对人体的危害 .....	97	6.3 三相异步电动机的起动、调速和 制动 .....	131
4.4.2 常见的触电方式 .....	98	6.3.1 三相异步电动机的起动 .....	131
4.4.3 常用的保护措施 .....	98	6.3.2 三相异步电动机的调速 .....	136
思考与练习 .....	100		
4.5 应用实例 .....	100		



6.3.3 三相异步电动机的制动 .....	138	思考与练习 .....	140	7.5 光电器件 .....	184
6.4 三相异步电动机的铭牌数据 .....	140	7.5.1 发光二极管 .....	184	7.5.2 光电二极管 .....	184
思考与练习 .....	143	7.5.3 光电晶体管 .....	185	7.5.4 光电耦合器 .....	185
6.5 三相异步电动机的选择 .....	143	7.6 应用实例 .....	185	本章小结 .....	186
6.5.1 功率的选择 .....	143	习题 .....	187	<b>第8章 放大电路初步 .....</b>	<b>189</b>
6.5.2 种类和结构型式的选择 .....	144	8.1 放大电路概述 .....	189	8.1.1 放大电路的基本概念 .....	189
6.5.3 电压和转速的选择 .....	145	8.1.2 放大电路的常用技术指标 .....	189	思考与练习 .....	192
思考与练习 .....	145	8.2 晶体管放大电路 .....	192	8.2.1 基本放大电路的组成 .....	192
6.6 单相异步电动机 .....	146	8.2.2 基本放大电路的工作原理 .....	193	8.2.3 晶体管放大电路的类型和特点 .....	195
思考与练习 .....	149	思考与练习 .....	198	8.3 集成运算放大器 .....	198
6.7 继电器接触控制系统 .....	149	8.3.1 集成运算放大器的组成及工作 原理 .....	199	8.3.2 集成运放的主要参数与分类 .....	200
6.7.1 基本控制器件 .....	149	8.3.3 理想运放及特点 .....	202	思考与练习 .....	203
6.7.2 继电器接触器控制电路图的阅读 方法 .....	157	8.4 放大电路中的负反馈 .....	203	8.4.1 反馈的基本概念与分类 .....	204
6.7.3 基本控制电路 .....	158	8.4.2 负反馈对放大电路性能的影响 .....	205	思考与练习 .....	208
思考与练习 .....	161	8.5 应用实例 .....	209	本章小结 .....	209
6.8 应用实例——运料车的继电器接触 控制 .....	161	习题 .....	210	<b>第9章 信号放大与处理电路 .....</b>	<b>212</b>
本章小结 .....	164	9.1 运算放大电路 .....	212	9.1.1 比例运算电路 .....	212
习题 .....	165	9.1.2 加法运算电路 .....	213	9.1.3 减法运算电路 .....	214
<b>第7章 常用半导体器件 .....</b>	<b>167</b>	9.1.4 积分和微分运算电路 .....	214	9.1.5 乘法和除法运算电路 .....	216
7.1 半导体基础知识 .....	167				
7.1.1 本征半导体 .....	167				
7.1.2 杂质半导体 .....	168				
7.1.3 PN结 .....	169				
思考与练习 .....	170				
7.2 半导体二极管 .....	171				
7.2.1 普通二极管 .....	171				
7.2.2 稳压二极管 .....	173				
思考与练习 .....	175				
7.3 半导体晶体管 .....	175				
7.3.1 晶体管的结构与电流放大原理 .....	175				
7.3.2 晶体管的特性曲线 .....	177				
7.3.3 晶体管的主要参数 .....	179				
思考与练习 .....	180				
7.4 场效应晶体管 .....	180				
7.4.1 绝缘栅场效应晶体管 .....	180				
7.4.2 场效应晶体管的主要参数 .....	183				

思考与练习·····	217
9.2 测量放大电路与采样保持电路·····	217
9.2.1 测量放大电路·····	217
9.2.2 采样保持电路·····	219
思考与练习·····	220
9.3 有源滤波电路·····	220
9.3.1 滤波电路概述·····	220
9.3.2 低通滤波器·····	221
思考与练习·····	224
9.4 电压比较器·····	224
9.4.1 过零比较器·····	224
9.4.2 单门限比较器·····	225
9.4.3 滞回比较器·····	225
9.4.4 窗口比较器·····	226
思考与练习·····	227
9.5 集成功率放大器·····	227
思考与练习·····	229
9.6 应用实例——按键电话分析·····	229
本章小结·····	229
习题·····	230
<b>第10章 直流稳压电源·····</b>	<b>234</b>
10.1 单相整流滤波电路·····	234
10.1.1 单相整流电路·····	234
10.1.2 滤波电路·····	236
思考与练习·····	238
10.2 线性稳压电路·····	239
10.2.1 串联型稳压电路·····	239
10.2.2 三端集成稳压器·····	240
思考与练习·····	243
10.3 开关型稳压电路·····	243
10.3.1 降压型开关稳压电路·····	243
10.3.2 集成开关稳压器·····	245
思考与练习·····	247
10.4 晶闸管及可控整流电路·····	247
10.4.1 晶闸管·····	247
10.4.2 可控整流电路·····	249
思考与练习·····	250
10.5 应用实例——电蚊拍中的倍压整流电路·····	250

本章小结·····	251
习题·····	251
<b>第11章 门电路和组合逻辑电路·····</b>	<b>253</b>
11.1 逻辑代数·····	253
11.1.1 逻辑变量与基本逻辑运算·····	253
11.1.2 逻辑代数的基本定律和基本公式·····	257
11.1.3 逻辑函数的表示方法·····	257
11.1.4 逻辑函数的代数法化简·····	259
思考与练习·····	260
11.2 逻辑门电路·····	260
11.2.1 TTL 门电路·····	261
11.2.2 CMOS 门电路·····	262
思考与练习·····	263
11.3 组合逻辑电路的分析和设计·····	263
11.3.1 组合逻辑电路的分析·····	263
11.3.2 组合逻辑电路的设计·····	266
11.3.3 组合逻辑电路中的竞争冒险·····	267
思考与练习·····	267
11.4 常用组合逻辑功能器件·····	267
11.4.1 编码器·····	268
11.4.2 译码器·····	270
11.4.3 数据选择器·····	274
11.4.4 数据分配器·····	276
11.4.5 数值比较器·····	277
思考与练习·····	278
11.5 应用实例·····	279
本章小结·····	280
习题·····	280
<b>第12章 触发器和时序逻辑电路·····</b>	<b>283</b>
12.1 双稳态触发器·····	283
12.1.1 RS 触发器·····	283
12.1.2 JK 触发器·····	286
12.1.3 D 触发器·····	288
思考与练习·····	289
12.2 寄存器·····	290
12.2.1 数据寄存器·····	290
12.2.2 移位寄存器·····	290
思考与练习·····	292



12.3 计数器 .....	292	14.2.1 数/模转换器的组成和工作原理 .....	328
12.3.1 计数器的分类 .....	292	14.2.2 数/模转换器的主要技术指标 .....	330
12.3.2 集成计数器 .....	294	14.2.3 集成数/模转换器及应用电路 .....	330
12.3.3 计数器的级联应用 .....	298	思考与练习 .....	332
思考与练习 .....	298	14.3 模/数转换器 .....	332
12.4 时序逻辑电路应用实例 .....	298	14.3.1 模/数转换过程 .....	332
12.4.1 流水灯电路设计 .....	298	14.3.2 模/数转换器的种类及性能指标 .....	333
12.4.2 简易数字频率计设计 .....	299	14.3.3 集成 ADC0809 .....	334
本章小结 .....	300	思考与练习 .....	335
习题 .....	301	14.4 应用实例 .....	336
<b>第 13 章 信号产生电路 .....</b>	<b>303</b>	本章小结 .....	338
13.1 模拟信号产生电路 .....	303	习题 .....	339
13.1.1 RC 正弦振荡电路 .....	303	<b>第 15 章 EDA 技术基础 .....</b>	<b>340</b>
13.1.2 非正弦波产生电路 .....	306	15.1 EDA 技术概述 .....	340
13.1.3 集成函数发生器 .....	309	15.1.1 EDA 简介 .....	340
思考与练习 .....	310	15.1.2 EDA 的设计方法 .....	341
13.2 脉冲信号产生电路 .....	310	15.1.3 常用的 EDA 软件简介 .....	342
13.2.1 555 定时器 .....	311	15.2 EWB 电路仿真软件及其应用 .....	343
13.2.2 单脉冲产生电路(单稳态触发器) .....	312	15.2.1 EWB 简介 .....	343
13.2.3 多谐振荡器 .....	315	15.2.2 EWB 软件菜单 .....	346
13.2.4 石英晶体振荡器与秒时钟脉冲 .....	316	15.2.3 EWB 的虚拟仪器 .....	350
思考与练习 .....	317	15.2.4 EWB 应用举例 .....	352
13.3 应用实例——双音门铃 .....	318	15.3 可编程模拟器件及其应用 .....	355
本章小结 .....	318	15.3.1 概述 .....	355
习题 .....	319	15.3.2 可编程模拟器件的结构和工作原理 .....	355
<b>第 14 章 传感器与信号转换电路 .....</b>	<b>321</b>	15.3.3 可编程模拟器件应用举例 .....	359
14.1 传感器 .....	321	15.3.4 PAC-Designer 软件及开发实例 .....	360
14.1.1 参量传感器 .....	321	15.4 可编程逻辑器件及其应用 .....	362
14.1.2 发电传感器 .....	323	15.4.1 可编程逻辑器件概述 .....	362
14.1.3 光敏传感器 .....	325	15.4.2 可编程逻辑器件的结构 .....	363
14.1.4 成分检测传感器 .....	327	15.4.3 可编程逻辑器件开发实例 .....	365
思考与练习 .....	328	参考文献 .....	373
14.2 数/模转换器 .....	328		

# 第1章 电路的基本定律和基本分析方法

电路理论是电工技术和电子技术的基础,它的研究对象是电路模型。本章首先介绍电路模型的概念及电路的一些基本物理量,引入电流、电压的参考方向的概念。然后介绍电阻、电感、电容、电压源和电流源等常用的电路元件,给出电路的基本定律——基尔霍夫定律。在此基础上,介绍分析电路的基本方法。

## 1.1 电路的组成及基本物理量

### 1.1.1 电路和电路模型

#### 1. 电路

电路是指为了某种需要由若干电气元件按一定方式连接起来的电流的通路。

电路的结构形式及所具有的功能是多种多样的。按电路的功能划分为两大类,第一类是实现电能的传输和转换的电路。最简单的就是手电筒电路,它由电池、灯泡、导线及开关组成,如图 1.1.1(a)所示。

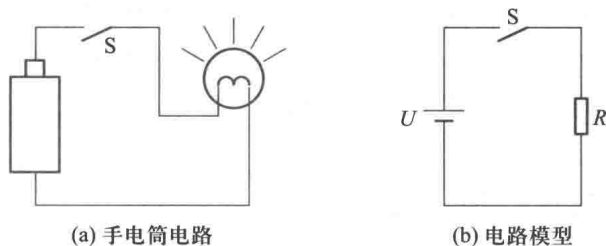


图 1.1.1 手电筒电路及其电路模型

电池是一种电源,它将化学能转换成电能,在其正、负极间保持一定的电压,为电路提供电能;灯泡由电阻丝制成,当电流流过电阻丝时,电阻丝会发热,从而使灯泡发光,它是一种消耗电能的器件。通常把消耗电能的用电器件或设备称为负载。导线起着沟通电路和输送电能的作用,开关起控制电路接通和断开的作用,开关和导线是连接电源和负载的中间环节。

第二类是实现信号的传递和处理的电路,如扩音机。扩音机由话筒、放大电路、扬声器组成。话筒将声音变成电信号,经过放大电路的放大,送到扬声器再变成声音输出。这里话筒是产生电信号的设备,称为信号源;扬声器是接受和转换电信号的设备,也就是负载。由于话筒输出的电信号很微弱,不足以推动扬声器发音,需要采用中间环节对信号进行放大和处理。

由此可见,电路主要由电源(或信号源)、负载以及从电源(或信号源)到负载



1-1 电路的组成及基本物理量讲义

的中间环节三部分组成。电源(或信号源)是提供电能(或电信号)的设备,负载是用电或输出电信号的设备,中间环节用于传输电能或传输、处理电信号,从上面所举的两个例子看,中间环节可以是简单的两根导线,也可以是一个复杂的系统。在电路分析中,通常把信号源或电源输出的电压或电流称为激励,把激励产生的电压或电流称为响应。有时,根据激励和响应的因果关系,将激励称为输入,响应称为输出。

## 2. 电路模型

组成电路的实际器件,其电磁性能的表现往往是多方面交织在一起的。如常用的电阻器,它不仅有消耗电能的功能,还会在其周围产生一定的磁场;再如电容器,它不仅有储存电场能的功能,还会因其介质不是百分之百的绝缘体而产生漏电,从而消耗电能。这样用数学来描述电阻器或电容器时就会很复杂,不利于对电路进行深入的分析。而人们在使用电阻器和电容器时,只利用电阻器消耗电能的功能,利用电容器储存电场能的功能,忽略其他次要的性能。

基于上述考虑,可以定义一些理想化的电路元件,每一种电路元件只体现一种基本电磁现象,具有精确和简单的数学定义,这些元件称为理想元件。电路分析中常用的理想元件有电阻、电感、电容、恒压源和恒流源等,它们将在后面几节中分别介绍。

定义了理想元件后,在一定条件下,电路中的实际器件就可以用理想元件及它们的组合来表示,这就是元件模型。一个实际器件可以有多个元件模型,视电路分析要求的精度和工作条件选择一种模型。一般来说,模型越复杂,精度就越高,分析就越困难。如一个电感线圈,一般情况下可以看作是理想电感(简称电感)。当通过电流的频率较低时,就应考虑线圈的能量损耗,这时可把线圈看作是电感和电阻的串联,如图 1.1.2(b)所示。如果电流的频率很高,要求的精度也较高时,则应考虑电场的影响,电路模型如图 1.1.2(c)所示。

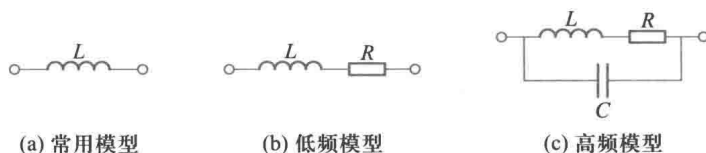


图 1.1.2 电感线圈模型

一个实际器件用元件模型来表示,总是在一定的假设条件下,即器件的尺寸远小于正常工作频率所对应的波长,这就是集总假设。因此理想元件也称为集总参数元件。举例说,我国电力用电的频率是 50 Hz,对应的波长为 6 000 km,对以此为工作频率的实验室设备来说,其尺寸与波长相比可忽略不计,因而用集总参数的概念是完全可以的。但对高压电力传输线来说,其传输距离常达到上千公里,这时就必须考虑电场、磁场沿线路分布的情况,不能用集总参数描述,而只能用分布参数描述,通过电磁场理论求解。

当电路中的实际器件都用理想元件或理想元件的组合表示后,由理想元件构成的电路图就称为实际电路的电路模型。在手电筒电路中,灯泡用电阻表示,干电池用电压源表示,开关和导线可视为理想导体,这样手电筒电路的电路模型

就是图 1.1.1(b)。

电路理论研究的对象是由理想元件构成的电路模型,目的是找出电路中具有普通意义的规律和电路分析的一般方法。

### 1.1.2 电流、电压和电位

电路中的基本物理量有电流、电压及功率。

#### 1. 电流

带电粒子有规律的运动形成电流。电流的大小用电流表示,其定义为:单位时间内通过导体截面积的电荷量。用符号  $i$  表示电流,则表示式为

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1.1.1)$$

如果电流不随时间变化,则表示式为

$$I = \frac{Q}{t} \quad (1.1.2)$$

在国际单位制中,电流的单位是安[培](A),习惯上将正电荷运动的方向规定为电流的方向,电流的方向是客观存在的。

在简单的电路中,可以容易地直接确定电流的方向,但在较复杂的电路中,就很难预先判定电流的方向。特别是在交流电路中,电流的大小和方向均随时间变化,很难表示出实际方向。在这种情况下,可以事先任意假定某一方向为电流的正方向,亦即参考方向,并用箭头标出,根据假定的电流正方向进行计算。若求得的电流是正值,则说明电流的实际方向与参考方向一致;若求得的电流是一个负值,则说明实际方向与参考方向相反,如图 1.1.3 所示。



图 1.1.3 电流的实际方向与参考方向

#### 2. 电压

电荷之所以能在电路中流动,是由于电荷在电路中受电场力的作用。为了衡量电场力做功的本领,引入电压这一物理量,将单位正电荷从 a 点移到 b 点时电场力做的功称为 ab 两点间的电压,表达式为

$$u_{ab} = \frac{dW}{dq} \quad (1.1.3)$$

式(1.1.3)中, $dW$  为  $dq$  从 a 点移至 b 点时电场力做的功。如果电压不随时间变化,则表达式为

$$U_{ab} = \frac{W}{Q} \quad (1.1.4)$$

在国际单位制中,电压的单位是伏[特](V)。

在电路和电子技术中,常常用到电位概念。在电路中任取一点  $o$  作为参考点,则由某点  $a$  到参考点的电压  $U_{ao}$  称为  $a$  点的电位,记为  $V_a$ 。参考点的选择具有任意性,因此电位也具有任意性,但任意两点间的电压(电位差)是不变的。在一个连通的系统中,只能选择一个参考点,参考点的电位等于零。在电子电路中,常选定一条特定的公共线作为参考点。这条公共线一般是很多元件的汇集处,而且常常是电源的一个极,这条线虽不直接接地,但有时也称为地线,参考点用接地符号“ $\perp$ ”表示。

有了电位的概念后,电路中任意两点之间的电压,可以用它们之间的电位差表示,如

$$U_{ab} = U_{ao} - U_{bo} = V_a - V_b$$

故电压又称为电位差。若  $U_{ab} > 0$ , 表示  $a$  点电位比  $b$  点电位高;若  $U_{ab} < 0$ , 表示  $a$  点电位比  $b$  点电位低。在电子电路中常采用一种习惯画法,当电源有一端与参考点相连时,电源不再用电源符号表示,只需将电源另一端相对参考点的电压数值和极性标出就可以了,如图 1.1.4 所示。

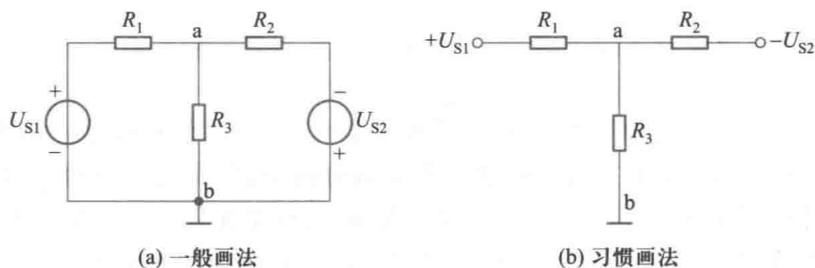


图 1.1.4 电子电路的习惯画法

一般规定电压的方向由高电位点指向低电位点,即电位降低的方向。在电路分析中,由于往往难于事先判定元件两端电压的实际方向,因此也要像电流一样先任意设定某一方向为电压的正方向,即参考方向。若计算结果电压为正值,则说明电压的实际方向与参考方向一致;若为负值,则说明实际方向与参考方向相反。电压的参考方向可采用极性表示,在元件两端标出正(+)、负(-)极性,从正极经元件指向负极的方向就是元件上电压的参考方向,也可采用箭头表示,在元件旁标上箭头,箭头的方向就是电压的参考方向,如图 1.1.5(a)所示。电压的参考方向还可用双下标表示,如  $U_{ab}$  表示电压的参考方向是由  $a$  指向  $b$ 。显然  $U_{ab} = -U_{ba}$ 。这里有一点需要特别指出,尽管电压和电流的参考方向可以任意指定,但一经确定,在整个分析计算过程中就不能变更,否则会引起混乱而导致计算错误。

电流和电压的参考方向可独立地设定,但为了分析方便,常采用关联参考方向,即把同一元件的电压参考方向和电流参考方向取为一致,电流从电压的正极流向负极,如图 1.1.5(b)所示。

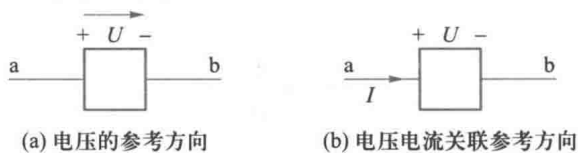


图 1.1.5 电压的参考方向和关联参考方向

## 1.1.3 电功率和电能

功率的定义为单位时间内转换的能量,即

$$p = \frac{dW}{dt}$$

在图 1.1.6 中,设正电荷  $dq$  从 a 点经元件 A 移到 b 点,ab 间的电压为  $u$ ,由式 (1.1.3) 知, $dq$  从 a 移到 b 时,电场能做功  $udq$ ,这就是被元件 A 吸收的能量  $dW$ ,这样,元件 A 的电功率为

$$p = \frac{dW}{dt} = \frac{udq}{dt} = ui \quad (1.1.5)$$

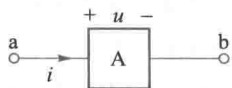


图 1.1.6 元件的电功率

这里  $u$  为元件上的电压降, $i$  为元件中的电流, $u$ 、 $i$  为关联参考方向。若计算结果表明  $u$ 、 $i$  同为正值或同为负值,则  $p > 0$ ,表明元件吸收功率或消耗功率;若  $u$ 、 $i$  互为异号,则  $p < 0$ ,表明元件释放功率或提供功率。若电路中的电压与电流为非关联参考方向,则功率的表达式为

$$p = -ui \quad (1.1.6)$$

此时,若求得  $u$ 、 $i$  互为异号,则  $p > 0$ ,表明元件吸收功率;若  $u$ 、 $i$  同为正值或同为负值,则  $p < 0$ ,元件释放功率。

对于直流电路,在关联参考方向下,功率的表达式为

$$P = UI \quad (1.1.7)$$

在国际单位制中,功率的单位是瓦[特](W)。

【例 1.1.1】在图 1.1.7 所示电路中,已知  $I = 2 \text{ A}$ ,  $U_1 = 4 \text{ V}$ 、 $P_2 = 16 \text{ W}$ 、 $U_3 = 6 \text{ V}$ ,求  $P_1$ 、 $P_3$ 、 $U_2$ 、 $U_{ab}$  及这部分电路的总功率。

解:元件 1 的电压、电流为关联参考方向,故

$$P_1 = U_1 I = 4 \times 2 \text{ W} = 8 \text{ W} \quad (\text{吸收功率})$$

元件 2 和元件 3 的电压和电流为非关联参考方向,故

$$P_3 = -U_3 I = -6 \times 2 \text{ W} = -12 \text{ W} \quad (\text{释放功率})$$

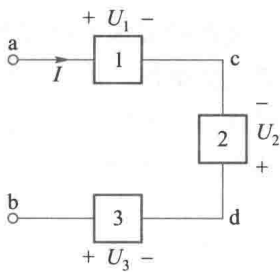


图 1.1.7 例 1.1.1 图

$$U_2 = -\frac{P_2}{I} = -\frac{16}{2} \text{ V} = -8 \text{ V}$$

$$\begin{aligned} U_{ab} &= U_a - U_b = U_a - U_c + U_c - U_d + U_d - U_b \\ &= U_1 - U_2 - U_3 = [4 - (-8) - 6] \text{ V} = 6 \text{ V} \end{aligned}$$

电路的总功率为

$$P = P_1 + P_2 + P_3 = [8 + 16 + (-12)] \text{ W} = 12 \text{ W} \quad (\text{吸收功率})$$

根据式 (1.1.5),在  $t_0$  到  $t$  时间内,元件 A 吸收(消耗)的电能为

$$W = \int_{t_0}^t p dt \quad (1.1.8)$$

如  $p < 0$ ,即  $W < 0$ ,则表明元件释放电能。直流时为

$$W = P(t - t_0) \quad (1.1.9)$$

在国际单位制中,电能的单位是焦耳(J),在实际中常采用千瓦小时(kW·h)作为电能的单位,简称 1 度电,它与焦耳的换算关系如下

$$1 \text{ kW} \cdot \text{h} = 10^3 \text{ W} \times 3600 \text{ s} = 3.6 \times 10^6 \text{ J}$$

// 思考与练习 //

1.1.1 电路的作用是什么？电路通常有哪几部分组成？

1.1.2 什么是理想元件？什么是电路模型？

1.1.3 求图 1.1.8 所示电路中开关 S 闭合和断开两种情况下 a、b、c 三点的电位。

1.1.4 求图 1.1.9 所示电路中的电流  $I$ 。

1.1.5 求图 1.1.10 所示电路中通过电源的电流  $I_1$ 、 $I_2$  及电源的功率，并说明是起电源作用还是负载作用。

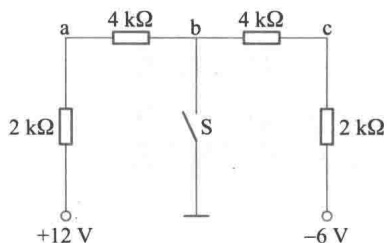


图 1.1.8 思考与练习 1.1.3 图

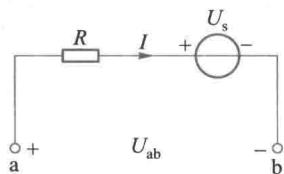


图 1.1.9 思考与练习 1.1.4 图

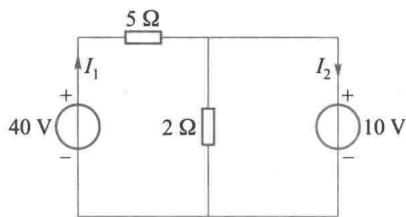


图 1.1.10 思考与练习 1.1.5 图

1.2 电路的基本元件



1-2 电路的基本元件讲义

电路的基本元件有电压源、电流源、电阻、电感和电容。电压源和电流源向电路提供电能。电阻元件只能消耗电能，电感和电容元件尽管能释放电能，但不能释放出多于它吸收或储存的电能。下面分别讨论各元件上电压-电流的关系（简称伏-安关系）及它们的能量消耗及储存。

1.2.1 电阻元件

当元件上的电压  $u$  与电流  $i$  有代数关系时，这种元件就称为电阻元件。电阻元件的电压、电流关系在  $u-i$  平面上是一条曲线，这条曲线称为电阻元件的伏安特性曲线。当伏安特性曲线是一条过原点的直线时，这种电阻元件就称为线性电阻元件，简称电阻，否则称为非线性电阻，见图 1.2.1。电路中通常说的电阻都是指线性电阻，用  $R$  表示。

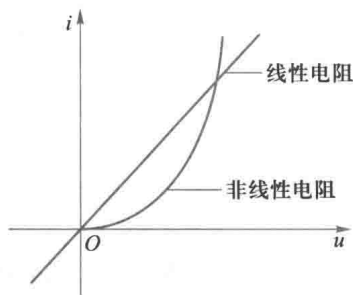


图 1.2.1 电阻元件的伏安特性

当在电阻两端加上电压或通以电流时，在关联参考方向下，电阻上的电压和电流满足关系

$$u = Ri \tag{1.2.1}$$

这就是大家熟悉的欧姆定律。 $R$  称为线性电阻元件的电阻值，简称电阻。这是一常数，与电流、电压的大小无关。在国际单位制中，电阻的单位是欧[姆]( $\Omega$ )。

当电压与电流为非关联参考方向时，电阻上的电压与电流的关系则为

$$u = -Ri \tag{1.2.2}$$

在电路分析中,有时也用另一个参数——电导来表示电阻元件的性质,电导定义为电阻的倒数,用  $G$  表示

$$G = \frac{1}{R} \quad (1.2.3)$$

在国际单位制中,电导的单位是西[门子](S)。用电导表示的欧姆定律为

$$i = Gu \quad (1.2.4)$$

由功率的表达式(1.1.5),可得电阻的功率为

$$p = ui = Ri^2 = \frac{u^2}{R} \quad (1.2.5)$$

由于  $R$  是正值,因此电阻的功率恒大于零,即电阻总是吸收功率,是耗能元件。

### 1.2.2 电感元件

具有存储磁场能量特性的元件称为电感元件。如线圈,当电流通过它时,线圈内部就会产生磁场,从而产生磁通,并存储磁场能量。忽略损耗电阻的电感线圈称为理想电感。设线圈中的电流为  $i$ ,单匝线圈的磁通为  $\phi$ , $N$ 匝线圈的总磁通——磁链为  $N\phi$ ,记作  $\psi$ 。

当电流  $i$  与磁通  $\psi$  满足右手关系时(如图 1.2.2(a)所示),定义

$$L = \frac{\psi}{i} \quad (1.2.6)$$

为线圈的电感。若  $\psi$  与  $i$  呈线性关系,电感元件称为线性电感。一般的空心线圈可视为线性电感,含有铁心的线圈则是非线性电感。除非特别说明,我们所说的电感都是指线性电感元件。在国际单位制中磁通的单位是韦[伯](Wb),电感的单位是亨[利](H),因此电感元件的电流与磁链的关系曲线称为韦安特性。线性电感的韦安特性在  $\psi$ - $i$  平面中是一条通过原点的直线,如图 1.2.2(b)所示。

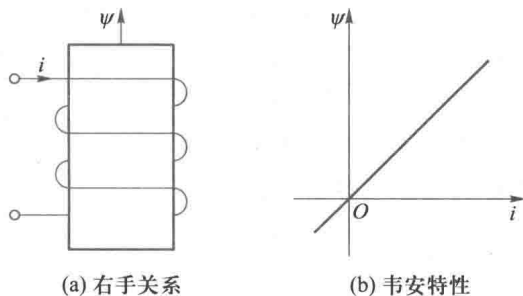


图 1.2.2 电感元件及其韦安特性

根据法拉第-楞次定律,电感中有电流变化时,会产生阻止电流变化的感应电动势,感应电动势的大小为  $\left| \frac{d\psi}{dt} \right| = L \left| \frac{di}{dt} \right|$ ,取电感上的电压与电流为关联参考方向,如图 1.2.3 所示,则

$$u = L \frac{di}{dt} \quad (1.2.7)$$

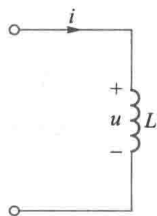


图 1.2.3 电感上的电压与电流