

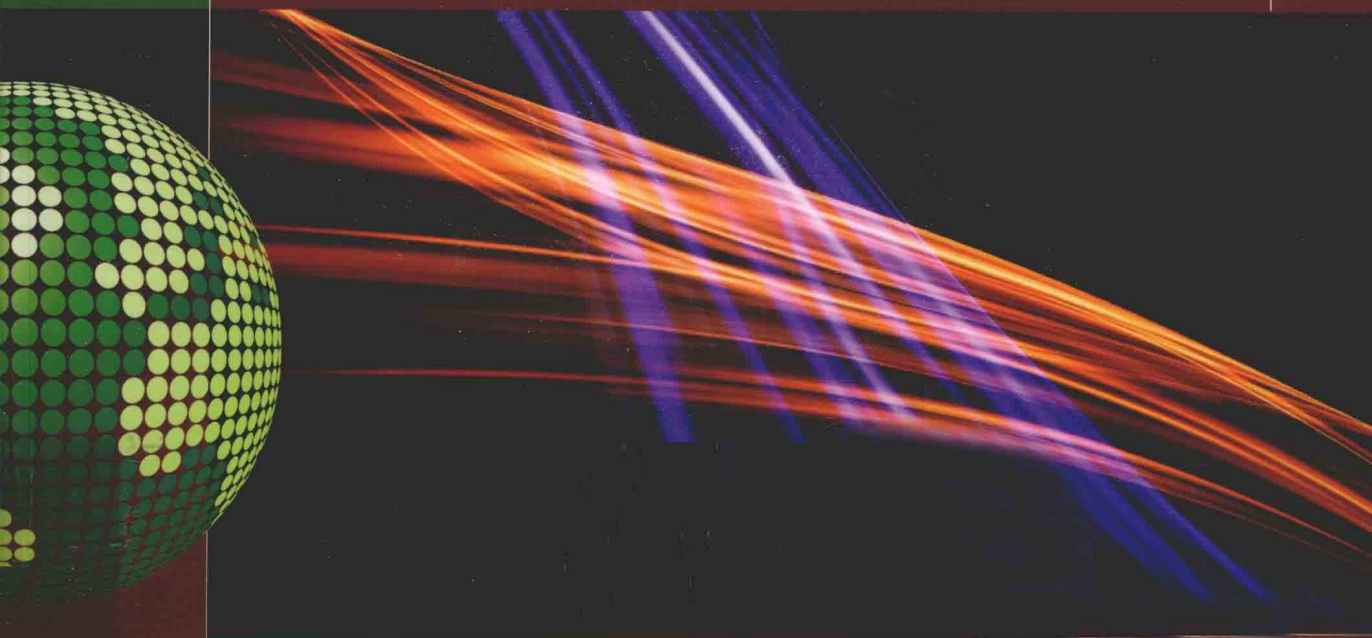


普通高等教育“十一五”国家级规划教材  
高等学校电工电子课程改革系列教材

# 电工电子技术教程

## (上册：电工与电路基础)

■ 邹逢兴 主编  
■ 潘孟春 胡助理 李 季 陈隶湘 唐 莺 编著



电子工业出版社  
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

Electrical Technology  
&  
Electrical

<http://www.phei.com.cn>



普通高等教育“十一五”国家级规划教材  
高等学校电工电子课程改革系列教材

# 电工电子技术教程

(上册:电工与电路基础)

邹逢兴 主编

潘孟春 胡助理 李季 陈棣湘 唐莺 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

## 内 容 简 介

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材,是作者所在单位长期以来进行电工电子系列课程统筹改革成果的结晶。全书分三册,上册:电工与电路基础,中册:集成数字电子技术基础,下册:集成模拟电子技术基础。经过精心设计,各册既有相对独立性、完整性,又是一个内容既不脱节又不重叠、相互协调呼应、有机联系的统一体。

本册为上册。它融“模电”、“数电”的必要基础知识与基本电路理论、基本电工原理于一体,分8章先后介绍了电路的基本概念与分析定律、电路的基本分析方法、非线性电阻电路的分析、动态电路的暂态分析、正弦交流电路的稳态分析、二端口网络、互感耦合电路和三相电路与用电常识等知识单元。其中各章均紧密结合电子技术实际取舍和组织内容,并专辟一节“实用电路及分析举例”,纳入了较多日常实用电路和典型电子线路,为后续的“集成数字电子技术”、“集成模拟电子技术”课程埋下伏笔、打下基础。

本书从体系到内容都有很大创新,重点放在基于集成电路的分析设计上,突出实用性和论例结合,非常适合于作为各级、各类高等学校理工科专业的本、专科学生新一代教材。对于电子信息领域的科学研究和工程技术人员,本书也是一本很好的实用参考书。

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。

### 图书在版编目(CIP)数据

电工电子技术教程. 上册:电工与电路基础/邹逢兴主编. —北京:电子工业出版社,2011.6  
普通高等教育“十一五”国家级规划教材  
ISBN 978-7-121-13653-5

I. ①电… II. ①邹… III. ①电工技术—高等学校—教材 ②电子技术—高等学校—教材 ③电工学—高等学校—教材 ④电路理论—高等学校—教材 IV. ①TM ②TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 100501 号

策划编辑:陈晓莉

责任编辑:陈晓莉

印 刷:北京丰源印刷厂

装 订:三河市鹏成印业有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编:100036

开 本:787×1092 1/16 印张:17.75 字数:467 千字

版 次:2011 年 6 月第 1 次印刷

印 数:4000 册 定价:38.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系。联系及邮购电话:(010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zllts@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

# 前 言

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材,是作者所在单位长期以来进行电工电子系列课程统筹改革成果的结晶。

随着电子技术和电子设计技术的发展,目前的电子工程师或工科各专业从事硬件电路开发的人员,已很少用分立元件去搭建各类电子系统了,一般都是基于不同规模的 IC 芯片去设计和构造实际系统。因此,作为学校教育,应该顺应技术发展潮流,适应行业工作现状,把电子技术课程教学的起点提高到集成电路芯片上,重点转移到基于集成电路芯片的分析与设计能力的培养上,没必要再从分立元件和基于分立元件的最基础电路讲起了。这是一个方面。另一方面,即使基于集成电路的数字、模拟电子系统分析与设计,也还是需要基本电路分析理论作支撑,所以,以电路分析基础类课程作为电子技术课程的前修课仍是必要的。但是,传统的电路分析基础类课程,往往是仅基于集总 R、C、L 元件论原理的居多,与“模电”、“数电”实际电路,特别是集成电子电路的结合很少,其结果使理论与实际脱节,几门课的整体效率不高,综合效果不好,教学效果时比偏低。

正是基于上述两方面考虑,我们从 20 世纪 90 年代开始,就将这几门课作为一个系列课程,从理论与实践的结合上,统筹考虑其内容和体系结构的改革,取得了较好的教学成效。在此基础上,进入 21 世纪后,我们将电工电子技术基础的内涵整合成《电工电子技术导论》、《集成数字电子技术》、《集成模拟电子技术》和《EDA 技术与设计实践》四门课,并策划设计了一套由与之同名的四本书构成的电工电子类课程改革系列教材。前三本书于 2005 年在电子工业出版社正式出版。从几年的自用和他用反馈的意见看,该系列教材的特色优势得到了本单位和诸多用书院教师的高度认同,本人还因此而多次应邀在国内相关教学学术研讨会和经验交流会上作专题报告,有关课程改革及教材编写思想引起了同行专家的广泛共鸣。但同时也暴露出三本书在具体内容的有机融合、统筹兼顾、前后呼应方面还存在不足。

本书在很大程度上是对上述系列教材的改进和修订。修订后,融入了作者所在学校近年来相关课程教学研究、教学改革的新思维、新理念、新成果,也吸收了用户对原书反馈的一些建设性意见,还吸取了近年来出版的一些同类教材的精华,尤其针对原来的不足做了较多改进。为体现原三本书是一个统一整体,这次将它们统一在《电工电子技术教程》一个书名下各成一册,并按学科发展内涵和教育、教学规律,从内容上到体系上对它们做出优化整合、处理:一方面,将“模电”、“数电”的必要基础知识与基本电路理论、基本电工原理有机融为一体,构成“上册:电工与电路基础”,其中各章均以电路分析理论应用举例等形式,融入了较多日常实用电路和典型电子线路,为后面的“数电”、“模电”课程奠定了基础和埋下了伏笔;另一方面,将原来的“数电”和“模电”改为以上册为基础,直接从 IC(集成电路)切入,直奔基于集成电路的数字/模拟电路分析与设计,而且从 SSIC 到 MSIC 再到 LSIC/VLSIC,集成规模越大,越把它作为介绍的重点,最后都归结到基于 LSIC/VLSIC 的数字/模拟 EDA,从而形成“中册:集成数字电子技术基础”和“下册:集成模拟电子技术基础”。与此同时,特别注意三册的水乳交融、有机融合和

承前启后、协调呼应。这样,既可保持学科内容上的科学性、基础性、完整性,又可体现电子技术的先进性、实用性,较好地反映和适应电子设计技术发展的现状和趋势,还可以用较少的学时数实现上述“五性”的统一,提高教学效时比。

本书将“集成数电”作为中册,而将“集成模电”作为下册,是基于这样一种考虑:学完“电工与电路基础”后,最好把“集成数字电子技术基础”课安排在“集成模拟电子技术基础”课前面,这样有利于将必须以“数电”为先修课的《计算机硬件技术基础》(或《微机原理与接口技术》)类课程尽早开,从而有利于实现本科四年“计算机应用不断线”的改革理念,也使学生有条件、有能力尽早参加电子设计、计算机应用方面的创新实践活动和学科竞赛,更好地培养工程实践能力和科技创新能力。

本册属全书上册,共8章,先后介绍了电路的基本概念与分析定律、电路的基本分析方法、非线性电阻电路的分析、动态电路的暂态分析、正弦交流电路的稳态分析、二端口网络、互感耦合电路和三相电路与用电常识等知识单元。其中各章均紧密结合电子技术实际取舍和组织内容,并专辟一节介绍“实用电路及分析举例”。

全书由邹逢兴主编,策划、提出了全书内容及组织结构,确定了编写思想,撰写了三级目录,审读修改、协调统一了全部书稿。潘孟春、胡助理、李季、唐莺、陈棣湘5人参加了本册编写/修订工作。国防科技大学先后从事本系列课程教学的许多教师,如刘少克教授、李云钢教授、刁节涛副教授、刘国福副教授、丁文霞副教授、史美萍副教授、关永峰副教授、刘安芝副教授、陆珉副教授、张玘教授、谢克彬副教授、翁飞兵副教授等,参加了对本册内容和结构的讨论,提出过许多很好的建议。尤其是我国著名电子学专家、原国家教委电子技术课程教学领导小组组长、华中科技大学教授康华光老先生,在对原系列教材提出褒奖并为出版作序的同时,也对其后的修订改进提出了中肯的指导性意见。在此一并向他们表示衷心的感谢!

由于本书从体系到内容都有较大创新,把重点放在基于集成电路的分析设计上,突出了实用性和论例结合,非常适合于作为各级各类高等学校理工科专业的大学生新一代教材。对电子信息领域的科学研究和工程技术人员,本书也是一本很好的实用参考书。又由于本书在确保贯彻改革创新思维的前提下,从体系到内容还做了一些其他方面的精心设计,使上、中、下三册的内容既相互协调呼应、有机联系,又有各自相对的独立性、完整性。因此,配套选用三册作为三门课教材自然最好,但单独选用某一册也未尝不可。

尽管本书力求改得更好,但毕竟内容取舍和结构模式都具有探索性,加之作者水平、经验有限,一定还存在不少缺陷,敬请读者不吝赐教。

邹逢兴  
2011年4月于长沙

# 目 录

第 1 章 电路的基本概念与分析定律	1
1.1 电路概述	2
1.1.1 电路的组成与功能	2
1.1.2 电路模型与集总假设	2
1.1.3 电路的分类	3
1.2 电路的基本物理量	4
1.2.1 电流	4
1.2.2 电压	6
1.2.3 电功率	8
1.2.4 器件的额定值	9
1.3 无源电路元件	10
1.3.1 电阻元件	10
1.3.2 电容元件	11
1.3.3 电感元件	14
1.4 有源电路元件	16
1.4.1 电压源和电流源	16
1.4.2 受控源	19
1.5 基本半导体器件	21
1.5.1 半导体基础与 PN 结	21
1.5.2 半导体二极管	23
1.5.3 半导体三极管	25
1.5.4 场效应管	29
1.6 运算放大器	32
1.6.1 运算放大器的符号与电压传输特性	32
1.6.2 理想运算放大器	33
1.7 逻辑门	34
1.7.1 数字电路的基本逻辑运算	34
1.7.2 实现逻辑运算的基本单元——逻辑门	36
1.8 电路分析基本定律	36
1.8.1 常用术语	37
1.8.2 基尔霍夫电流定律	37
1.8.3 基尔霍夫电压定律	38
1.9 实用电路及分析举例	40
1.9.1 简易照明电路	40
1.9.2 基本放大电路	41
1.9.3 逻辑门电路	42

思考题与习题 1 .....	45
<b>第 2 章 电路的基本分析方法 .....</b>	<b>49</b>
2.1 等效变换法 .....	49
2.1.1 二端网络的概念 .....	50
2.1.2 电路等效的概念 .....	50
2.1.3 电阻的等效变换 .....	51
2.1.4 独立源的等效变换 .....	55
2.2 电路独立方程求解法(2b 法) .....	60
2.2.1 KCL 独立方程 .....	60
2.2.2 KVL 独立方程 .....	60
2.2.3 支路伏安约束独立方程 .....	61
2.3 支路电流法 .....	62
2.3.1 支路电流法基本思想 .....	62
2.3.2 支路电流法分析步骤 .....	62
2.4 网孔电流法 .....	63
2.4.1 网孔电流法的基本思想 .....	63
2.4.2 网孔电流法方程的一般形式 .....	64
2.4.3 网孔电流法几种特殊情况的处理方法 .....	65
2.5 节点电压法 .....	66
2.5.1 节点电压法基本思想 .....	66
2.5.2 节点电压法方程的一般形式 .....	67
2.5.3 节点电压法几种特殊情况的处理方法 .....	68
2.6 齐次定理与叠加定理 .....	69
2.6.1 齐次定理 .....	69
2.6.2 叠加定理 .....	70
2.7 置换定理 .....	72
2.8 戴维南定理与诺顿定理 .....	73
2.8.1 戴维南定理 .....	73
2.8.2 诺顿定理 .....	76
2.9 特勒根定理与互易定理 .....	78
2.9.1 特勒根定理 .....	78
2.9.2 互易定理 .....	80
2.10 最大功率传输定理 .....	81
2.11 实用电路分析举例 .....	83
2.11.1 万用表分压分流电路 .....	83
2.11.2 家用有害气体报警电路 .....	84
思考题与习题 2 .....	85
<b>第 3 章 非线性电阻电路的分析 .....</b>	<b>89</b>
3.1 概述 .....	89
3.1.1 非线性电阻元件及分类 .....	90
3.1.2 非线性电阻电路及其解的特点 .....	91
3.2 非线性电阻电路的基本分析方法 .....	92
3.2.1 解析法 .....	92

3.2.2	图解法	92
3.2.3	分段线性法	94
3.3	非线性电阻电路的小信号分析法	95
3.3.1	非线性电阻电路静态工作点的概念	95
3.3.2	非线性电阻电路的小信号等效电路	95
3.4	实用非线性电阻电路分析举例	97
3.4.1	二极管应用电路的分析	97
3.4.2	晶体管放大电路的静态工作点分析	99
3.4.3	同相程控增益放大电路分析	100
3.4.4	温度测量与控制电路分析	100
	思考题与习题 3	101
<b>第 4 章</b>	<b>动态电路的暂态分析</b>	<b>103</b>
4.1	动态电路及其方程	104
4.1.1	动态电路概述	104
4.1.2	动态电路方程	104
4.2	换路定则与初始条件确定	107
4.2.1	换路定则	107
4.2.2	基于换路定则的电路初始值计算	107
4.3	RC 电路的响应	110
4.3.1	RC 串联电路的零输入响应	110
4.3.2	RC 串联电路的零状态响应	114
4.3.3	RC 电路的全响应	117
4.4	RL 电路的响应	118
4.4.1	RL 串联电路的零输入响应	118
4.4.2	RL 串联电路的零状态响应	119
4.4.3	RL 电路的全响应	121
4.5	一阶电路响应的三要素分析法	121
4.5.1	一阶电路响应规律的总结	121
4.5.2	三要素分析法	121
4.6	阶跃信号与阶跃响应	125
4.6.1	阶跃信号	125
4.6.2	阶跃响应	127
4.7	二阶电路的暂态分析	129
4.7.1	二阶暂态电路	129
4.7.2	二阶暂态电路方程的建立	129
4.7.3	二阶暂态电路方程的解	129
4.7.4	二阶暂态电路方程的非振荡解	131
4.7.5	二阶暂态电路方程的振荡解	133
4.8	实用动态电路分析举例	136
4.8.1	微分电路与积分电路分析	136
4.8.2	闪光灯电路分析	137
4.8.3	汽车点火电路分析	138
	思考题与习题 4	139



<b>第 5 章 正弦交流电路的稳态分析</b> .....	143
5.1 正弦交流电概述 .....	143
5.1.1 正弦交流电及其表示方式 .....	144
5.1.2 正弦量的三要素 .....	144
5.1.3 正弦量的相位差 .....	145
5.1.4 正弦量的有效值 .....	146
5.1.5 正弦量的相量表示 .....	147
5.2 正弦稳态电路的相量形式 .....	149
5.2.1 电阻、电容和电感元件伏安关系的相量形式 .....	150
5.2.2 基尔霍夫定律的相量形式 .....	154
5.3 阻抗和导纳 .....	156
5.3.1 阻抗 .....	156
5.3.2 导纳 .....	160
5.3.3 阻抗与导纳的相互转换 .....	162
5.4 正弦稳态电路的相量法分析 .....	163
5.4.1 RLC 串联正弦交流电路的相量分析法 .....	163
5.4.2 RLC 并联正弦交流电路的相量分析法 .....	165
5.4.3 复杂正弦交流电路的相量分析法 .....	166
5.5 正弦稳态电路的功率 .....	168
5.5.1 瞬时功率 .....	168
5.5.2 有功功率 .....	171
5.5.3 无功功率 .....	172
5.5.4 视在功率 .....	173
5.5.5 复功率 .....	174
5.5.6 功率因数的提高 .....	175
5.5.7 最大功率传输定理 .....	178
5.6 正弦交流电路的频率特性及应用 .....	180
5.6.1 分析频率特性的工具——传递函数 .....	180
5.6.2 RC 电路的频率特性与滤波器 .....	180
5.6.3 RLC 电路的频率特性及应用 .....	184
5.7 非正弦周期性信号电路 .....	188
5.7.1 非正弦周期性信号的傅里叶级数分解 .....	189
5.7.2 非正弦周期性信号的基本参量 .....	190
5.7.3 非正弦周期性信号电路的稳态分析 .....	193
5.8 实用正弦交流电路分析举例 .....	195
5.8.1 RC 低频信号发生器电路分析 .....	195
5.8.2 移相器电路分析 .....	196
5.8.3 收音机调谐电路分析 .....	197
5.8.4 电视机声像信号分离电路分析 .....	198
思考题与习题 5 .....	198
<b>第 6 章 二端口网络</b> .....	203
6.1 二端口网络概述 .....	203
6.2 二端口网络的方程与参数 .....	204

6.2.1	Y 方程与 Y 参数	204
6.2.2	Z 方程与 Z 参数	206
6.2.3	H 方程与 H 参数	207
6.2.4	T 方程与 T 参数	209
6.3	异类参数间的转换关系	210
6.3.1	Z 参数与 Y 参数的相互转换	210
6.3.2	Y 参数与 T 参数的相互转换	210
6.3.3	四类参数之间的相互转换关系表	211
6.4	二端口网络的等效	212
6.4.1	Y 参数等效	212
6.4.2	Z 参数等效	213
6.5	二端口网络的连接	213
6.5.1	级联及其参数关系	213
6.5.2	串联及其参数关系	214
6.5.3	并联及其参数关系	215
6.5.4	连接的有效性	216
6.6	二端口网络函数	217
6.6.1	策动点函数	218
6.6.2	转移函数	218
6.6.3	特性阻抗与传输系数	219
6.7	实用二端口网络举例	220
6.7.1	三极管工作在小信号条件下的 H 参数等效电路	220
6.7.2	三极管工作在高频小信号条件下的 Y 参数等效电路	221
6.7.3	阻抗匹配二端口电路	222
	思考题与习题 6	223
<b>第 7 章</b>	<b>互感耦合电路</b>	<b>225</b>
7.1	互感与互感耦合器件	225
7.1.1	互感现象	225
7.1.2	互感线圈的同名端	227
7.1.3	互感耦合器件的电压电流关系	227
7.2	互感耦合器件的连接	229
7.2.1	互感耦合器件的串联	229
7.2.2	互感耦合器件的并联	230
7.2.3	互感耦合器件的 T 型连接	231
7.3	互感耦合电路的分析方法	232
7.3.1	互感耦合电路的受控源等效分析方法	232
7.3.2	互感耦合电路的 T 型等效分析方法	232
7.3.3	互感耦合电路的一般分析方法	233
7.4	变压器及其电路分析	234
7.4.1	变压器	234
7.4.2	变压器电路分析	238
7.5	实用电路分析举例	240
7.5.1	互感线圈同名端测量电路分析	240

7.5.2 电功率表与阻抗参数三表法测量电路分析	240
思考题与习题 7	241
<b>第 8 章 三相电路与用电常识</b>	<b>243</b>
8.1 对称三相电源与三相负载	244
8.1.1 对称三相电源及其特点	244
8.1.2 对称三相负载及其特点	245
8.1.3 三相电源的连接	246
8.1.4 三相负载的连接	247
8.2 三相电路的分析	248
8.2.1 Y/Y 电路的分析	248
8.2.2 $Y_0/Y_0$ 电路的分析	250
8.2.3 负载为三角形连接的三相电路分析	251
8.3 三相电路的功率	252
8.3.1 对称负载三相功率的计算	252
8.3.2 不对称负载三相功率的计算	254
8.3.3 三相功率的测量	254
8.4 电工测量仪表	256
8.4.1 电工测量仪表的分类	256
8.4.2 电工仪表的误差与准确度	257
8.5 常用电量的测量	258
8.5.1 电压的测量	258
8.5.2 电流的测量	258
8.5.3 功率的测量	259
8.5.4 电能的测量	259
8.5.5 电阻、电容、电感的测量	260
8.5.6 电桥	260
8.5.7 兆欧表	262
8.6 安全用电常识	263
8.6.1 电流对人体的影响	263
8.6.2 人体电阻及安全电压	264
8.6.3 人体触电的种类	265
8.6.4 接地	266
8.6.5 接零	267
8.6.6 重复接地	269
8.6.7 自然接地体和人工接地体	269
8.6.8 日常用电注意事项	269
思考题与习题 8	270
<b>参考文献</b>	<b>273</b>

# 第1章 电路的基本概念与分析定律

## 本章导读信息

电路由各种电气元件构成,其结构千差万别,但电路中各电压和电流遵循共同规律,即受到两类约束:一是来自电路中联接方式的约束(称拓扑约束),即基尔霍夫定律;二是电路元件上的电压与电流关系的约束,即元件伏安特性。电路元件的伏安特性和基尔霍夫定律是分析电路的基础。学习掌握基尔霍夫定律时,需深刻理解其物理本质基础,同时结合元件的伏安特性,应能熟练地对具体电路列写基尔霍夫定律方程(即电路方程)。

### 1. 内容提要

本章在引入电路模型概念的基础上,先介绍电路中的电压、电流和功率等基本物理量;接下来介绍基本无源电路元件和基本有源电路元件的伏安特性,基本半导体器件的结构、工作原理和外部特性曲线,运算放大器的符号、电压传输特性曲线及理想运算放大器的特点;基本逻辑门的符号及对应的逻辑函数表达式和逻辑关系,最后阐述基尔霍夫定律。

本章涉及的电路相关概念与名词术语很多,主要有:

电路,信号源,负载,中间环节,电路的组成与功能,电路模型,集总元件,集总假设条件;静态电路与动态电路,线性电路和非线性电路,时变电路和非时变电路,集总参数电路与分布参数电路,模拟电路和数字电路。

模拟信号,数字信号,电路的基本变量,电流,电压,电流、电压的参考方向,关联方向,电功与电功率,消耗功率,吸收功率。

无源元件和有源元件,伏安特性,线性电阻,非线性电阻,电容元件的动态、记忆和储能特性,电感元件的动态、记忆和储能特性,理想电压源及其特性,理想电流源及其特性,受控源、控制量和控制系数。

本征半导体,共价键,空穴,载流子,掺杂半导体,N型半导体,P型半导体,PN结,空间电荷区,耗尽层,阻挡层,单向导电性,正向偏置,导通状态,反向偏置,截止状态。

二极管,死区电压,反向击穿,反向击穿电压,最大正向电流 $I_F$ ,最大反向工作电压 $U_R$ ,反向漏电流 $I_R$ ,最高工作频率 $f_M$ ;三极管,基极,发射极,集电极,发射结,集电结,放大状态,截止状态,饱和状态;场效应管,源极,漏极,栅极。

基本放大电路,晶体管共发射极放大电路,场效应管共源极放大电路;集成运算放大器,开环,同相输入端,反相输入端,理想运算放大器,虚短,虚断;与、或、非基本逻辑运算,与、或、非基本逻辑门,与非、或非、异或、同或复合逻辑门;支路,节点,回路,网孔,基尔霍夫电流定律(KCL),基尔霍夫电压定律(KVL),两类约束。

### 2. 重点难点

#### 【本章重点】

- (1) 电流、电压参考方向;
- (2) 三种基本电路元件(电阻、电容、电感)的伏安关系;
- (3) 三种有源元件(电压源、电流源和受控源)的伏安关系;
- (4) 基尔霍夫定律及其应用。

## 【本章难点】

- (1) 电压源、电流源、受控源等电路基本元件的特性及其在电路中的作用和相互关系；
- (2) 基尔霍夫电流、电压定律(KCL、KVL)及其应用。

## 1.1 电路概述

电路是电流的通路。它是由一些基本物理元件相互连接而成。实际电路都是由电阻器、电容器、线圈、变压器、晶体管、场效应管和电源等部件组成。而实际设计制作某种部件时,利用的是它的主要物理特性。比如,一个实际电阻器在对电流呈现阻力的同时会产生一个磁场,即也具有电感的性质(通电导线周围有磁场),为了便于分析问题,就必须在一定条件下对实际部件进行理想化,忽略它的次要性质,用一个足以表征其主要性质的模型来代替。本节先讨论电路的基本组成、电路模型与集总假设,而后讨论电路的分类。

### 1.1.1 电路的组成与功能

#### 1. 电路的基本组成

人们在生产和生活中使用的电气设备,如电动机、电视机、计算机,信息化武器装备的通信设备、火控系统等都是由不同功能的实际电路组成。实际电路的种类繁多,用途也各异,但都可以看成是电源(包括信号源)、负载和中间环节三个基本部分组成。其中电源的作用是为电路提供电能;负载则将电能转化为其他形式的能量加以利用,例如电炉将电能转化为热能,扬声器将带有声音信息电信号转化为声音等;中间环节作为电源和负载的联接体,其作用是传输、分配、控制电能。图 1.1 所示的是一个简单照明电路,干电池是电源,灯泡即负载,导线和开关则是中间环节,通过开关的开或关控制电流的通或断实现照明。

#### 2. 电路的基本功能

电路的功能可概括为两大类,一类电路用于实现电能的传输和转换,如图 1.1 中,电池通过导线将电能传递给灯泡,灯泡将电能转化为光能;另一类电路用于实现信号的传递和处理,如图 1.2 所示是一个扩音机的原理示意图,话筒将声音的振动信号转换为电信号(电压或电流),该信号经过放大电路放大后传递给扬声器,再由扬声器还原为声音。

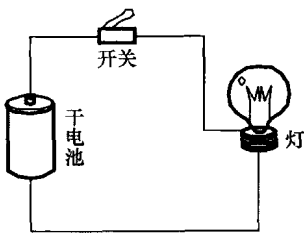


图 1.1 简单照明电路

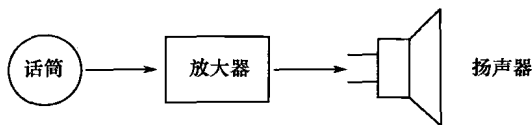


图 1.2 扩音机的原理示意图

### 1.1.2 电路模型与集总假设

#### 1. 电路模型

电路是由一些元件联接而成的总体。这些元件通常包括电阻器、电容器、线圈、变压器、电源等器件。这些元件都具有特定的电气特性,如电阻器表现的是它对电流的阻碍作用,它将电能转化为热能。但实际上它不是一个纯粹的电热转换体,根据电磁感应定律,电流流过电阻器

时还会有电能到磁能的转换,即部分电能转换为磁能存储下来,但这部分能量是次要的;为了用数学的方法从理论上判断电路的主要性能,在一定条件下对实际器件忽略其次要性质,按其性质用一个表征主要性能模型来表示,即将实际器件理想化,从而得到一系列理想化元件,如将电阻器视作理想电阻元件,只消耗电能,又简称为电阻元件。

类似地,将电容器、线圈、电源相应视作理想电容元件(只存储电能)、理想电感元件(只存储磁场能)、理想电压源或理想电流源。这种由理想元件构成的电路称为电路模型,它是本课程研究的对象。

## 2. 集总元件与集总假设

实际电路在什么情况下可以转换成电路模型呢?当实际电路几何尺寸远小于最高工作频率所对应的波长时,即信号从电路的一端传输到另一端所需的时间远小于信号的周期,可以认为传送到电路各处的电磁能量是同时到达的,这时整个电路可以看成电磁空间的一个点,由此认为交织在器件内部的电磁现象可以分开考虑,即电路中电场与磁场的相互作用可以不用考虑。这又称为集总假设。我国的供电频率是 50Hz,对应的波长是 6000km,对以此为工作频率的日常用电设备来说,其尺寸远小于这一波长,满足集总假设。集总假设是本书的基本假设。

当电路满足集总假设时,电路中的电场和磁场可以分开考虑,那么每一种元件只反映一种基本电磁现象,且可以用数学方法进行定义,如电阻元件只涉及消耗电能,电容元件只涉及与电场相关的现象,电感元件只涉及与磁场相关现象。我们将电感元件、电容元件、电阻等元件等称为集总参数元件,简称为集总元件。

上面提到的电感、电容、电阻等集总元件有一个共同的特点,都具有两个端钮,所以人们称它们为二端元件,又叫单口元件。除二端元件外,后面章节还会介绍多端元件,如变压器、受控源、晶体三极管等。

## 3. 集总电路与电路图

由集总元件构成的电路模型称为集总电路模型,简称集总电路。集总电路的前提是集总假设。为了表述集总电路,通常引入一套符号,图 1.3 示意出了电感、电阻、电容、电源对应的符号,用这些符号表示的拓扑结构称为集总电路图,简称为电路图。图 1.4 是对应图 1.1 简单照明电路的电路模型,即对应的电路图。

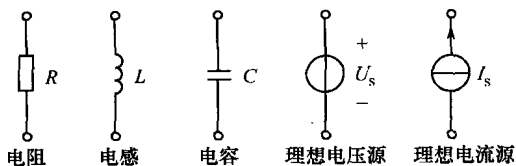


图 1.3 元件符号

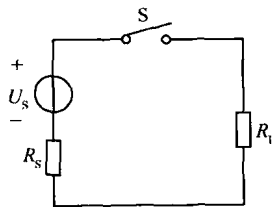


图 1.4 电路图

### 1.1.3 电路的分类

电路的种类繁多,按其处理的信号不同可分为模拟电路和数字电路两大类。模拟电路中的工作信号是模拟信号。所谓模拟信号是指在时间上和数值上均是连续的,且在一定动态范围内可以任意取值。而数字电路处理的是数字信号。数字信号是指在时间上和数值上都是离

散的信号。

按电路的尺寸可分为集总参数电路与分布参数电路,如 30km 长的电力输电线,由于其长度远小于工作频率为 50Hz 对应的波长 6000km,因此可以视作是集总参数电路;而对于电视天线及其传输线来说,工作频率一般为  $10^8$  Hz 数量级,如工作频率约为 200MHz 的某电视频道,其相应工作波长为 1.5m,此时 0.2m 长的传输线就是分布参数电路。

除此之外,还可按电路中输入与输出关系分成线性电路和非线性电路,若描述电路特性的所有方程都是线性代数或微积分方程,则称这类电路是线性电路;否则为非线性电路。线性电路的输入输出关系遵循齐次性和可加性,非线性电路则反之。非线性电路在工程中应用更为普遍,线性电路常常仅是非线性电路的近似模型。但线性电路理论是分析非线性电路的基础。

按电路中元件参数是否随时间变化,电路又可分为时变电路和非时变电路,非时变电路中所有元件参数不随时间变化,描述它的电路方程是常系数的代数或微积分方程;时变电路中含有参数随时间变化的元件,由变系数方程描述。本书讨论的是集总电路中的线性时不变电路。

## 1.2 电路的基本物理量

本课程的目的是研究电路的基本规律,分析电路的电性能。电路的规律及性能的分析通常引入一些典型变量的变化来表征,这些变量就是电路的基本物理量,包括电流、电压、功率等。

### 1.2.1 电流

#### 1. 电流的定义

在电场力作用下,电荷的定向移动形成电流。为了衡量电流的大小,定义单位时间内通过导体横截面积的电量为电流强度,简称为电流,用  $i$  表示,即

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1.1)$$

电流不仅是电路中一种特定物理现象,而且是描述电路的一个基本物理量。

如果单位时间内通过导体横截面的电荷量为常数,即电流的大小和方向都不随时间变化,则这种电流称作恒定电流,简称直流,用  $I$  表示,即

$$I = \frac{Q}{T} \quad (1.2)$$

式中, $Q$  为时间  $T$  内通过导体横截面积的电量。

如果单位时间内通过导体横截面的电荷量不为常量,则称之为时变电流。若时变电流的大小和方向都随时间做周期性变化,则这种电流称作交变电流,简称交流,如第 5 章将要介绍的正弦交流电就是典型的交流电。

在国际单位制中,时间的单位为秒(s),电量的单位为库仑(Q),电流的单位为安培(A),简称安。电流的辅助单位有毫安(mA)、微安( $\mu$ A)等。

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

#### 2. 电流的参考方向

电流是有方向的,习惯上把正电荷运动的方向作为电流方向,如图 1.5 所示。

在简单电路中,电流的实际方向是可以预先判断确定的,如图 1.6 所示电路中,流过电阻的电流是从上往下,计算不会遇到困难。但在如图 1.7 所示电路中,由于电路较复杂,若只凭观察

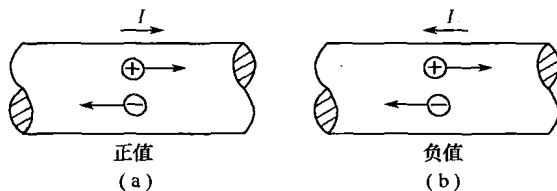


图 1.5 电流的参考方向

电路,是不容易知道流过  $2\Omega$  电阻的电流方向的。为解决这个问题,通常引入参考方向的概念。

图 1.8 是从一个复杂电路中抽出的一个任意元件。电流的实际方向是从 a 到 b,还是从 b 到 a,无法预先判定。为了便于研究,可在电路分析时事先任意假定一个电流流向,这个假定方向称为电流的参考方向、或电流的正方向。电流的参考方向在电路中常用箭头表示。图 1.8 中所示的电流  $i$  的参考方向是由 a 端流向 b 端。

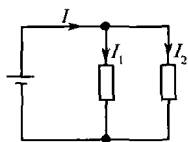


图 1.6 简单电路

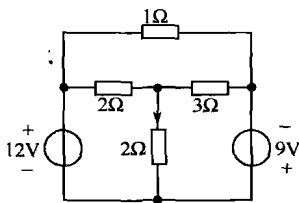


图 1.7 复杂电路

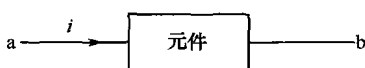


图 1.8 电流的参考方向

假定了电流的参考方向后,就能以此方向为依据对电路进行求解。若解得电流  $i$  值为正,说明电流的实际方向与参考方向一致;反之,则说明电流的实际方向与参考方向相反。如果在电路中没有标明参考方向,那么计算出的电流正、负没有任何意义。因此进行电路分析之前必须标明电流的参考方向。

【例 1.1】在图 1.8 中:

- (1) 已知  $i = -2\text{A}$ , 试指出电流的实际方向;
- (2) 已知  $i = 2\sin(100\pi t + \frac{3}{2}\pi)\text{A}$ , 试指出  $t = 1\text{s}$  时  $i$  的实际方向。

解 (1)  $i$  为负值,表示电流的实际方向与图中所标的参考方向相反,故电流的实际方向是由 b 指向 a。

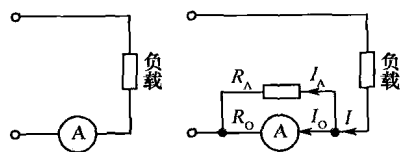
(2) 当  $t = 1\text{s}$  时,可求出该瞬时电流的值为

$$i = 2\sin(100\pi + \frac{3}{2}\pi)\text{A} = -2\text{A}$$

故电流的实际方向也与参考方向相反,即由 b 指向 a。

### 3. 电流的测量

电流可直接测量,也可通过耦合方式间接测量。直接测量通常采用电流表或带测量电流功能的多用表或采集系统,实现测量时测量探头必须串联在电路中,如图 1.9(a)所示。为了使电路的工作不因接入电流表而受影响,电流表的内阻必须很小,因此,如果不慎将电流表并联在电路的两端,则电流表将烧毁,在使用时务须特别



(a) 直接测量电流 (b) 电流表量程的扩大

图 1.9 电流的测量



注意。

采用电磁式电流表测量直流电流时,因其测量机构(即表头)所允许通过的电流很小,不能直接测量较大电流,为了扩大它的量程,应该在测量机构上并联一个称为分流器的低值电阻  $R_A$ ,如图 1.9(b)所示。

这样,通过磁电式电流表的测量机构的电流  $I_0$  只是被测电流  $I$  的一部分,但两者有如下关系

$$I_0 = \frac{R_A}{R_0 + R_A} I \quad \text{即} \quad R_A = \frac{R_0}{I/I_0 - 1}$$

式中,  $R_0$  为测量机构的电阻。由上式可知,需要扩大的量程越大,则分流器的电阻应越小。多量程电流表具有几个标有不同量程的接头,这些接头可分别与相应阻值的分流器并联。分流器一般放在仪表的内部,成为仪表的一部分,但较大电流的分流器常放在仪表的外部。

## 1.2.2 电压

### 1. 电压的定义

由物理学可知,电位即电场中某点的电动势,它在数值上等于电场力把单位正电荷从某点移动至无穷远处所做的功。电场无穷远处的电位被认定为零,作为衡量电场中各点电位的参考点。工程上常选与大地相连的部件(如机壳等)作为参考点,没有与大地相连的部件的电路,常选许多元件的公共节点作为参考点,并称为“地”。在电路分析中,可选电路中一点作为各节点的参考点。参考点用接地符号“⊥”标出。

电压也是描述电场力移动电荷做功的物理量,它在数值上等于电场力把单位正电荷从一点移到另一点所做的功。

根据电压和电位的定义可知,a、b 两点间的电压等于 a、b 两点间的电位之差,即

$$U_{ab} = U_a - U_b$$

若以 b 为参考点,a、b 两点间的电压等于 a 点的电位。

**【例 1.2】** 在图 1.10(a)所示电路中,已知  $U_{S1} = 6V$ ,  $U_{S2} = 3V$ ,求  $U_{bc}$ 。

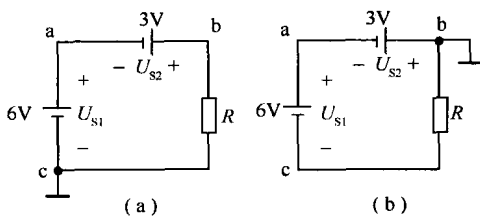


图 1.10 例 1.2 电路图

解

$$U_c = 0V, U_a = 6V$$

$$U_b = 6 + 3 = 9V$$

$$U_{bc} = U_b - U_c = 9V$$

若以 b 为参考点,如图 1.10(b)所示,则各节点电位分别为

$$U_b = 0V, U_a = -3V$$

$$U_c = -(3 + 6)V = -9V$$

$$U_{bc} = U_b - U_c = 9V$$

由例 1.2 可以看出:

(1) 若  $U_b > U_c$ ,则  $U_{bc} > 0$ ,反之则  $U_{bc} < 0$ 。电压的方向为电位降低的方向。

(2) 电路中各点的电位值是相对值,是相对于参考点而言的。参考点改变,各点的电位值将随之改变,但无论参考点如何改变,任两点间的电压值(即电位差)并不改变,因此两点间的电压值是绝对的。

(3) 电位值和电压值与计算时所选的路径无关。