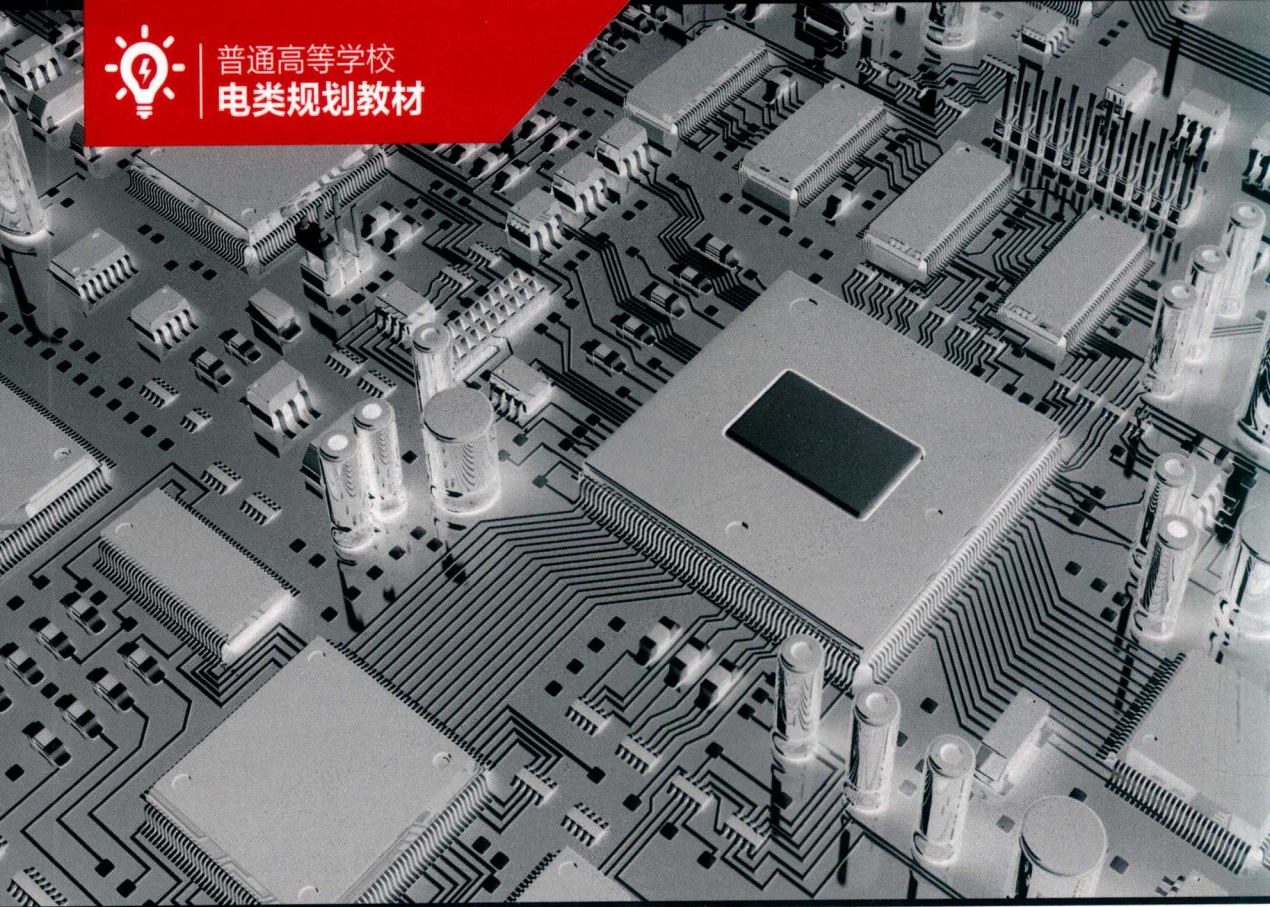




普通高等学校
电类规划教材



电路与 模拟电子技术

慕课版

◎李广明 曾令琴 李建辉 黄锦旺 闫曾 编著

- 立体化教材，拥有上百个小视频、高水平教学课件
- 从实际应用角度出发，重点培养动手解决问题的能力



中国工信出版集团



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS



普通高等学
电类规划教材

电路与 模拟电子技术

慕课版

◎李广明 曾令琴 李建辉 黄锦旺 闫曾 编著

人民邮电出版社

北京

图书在版编目 (CIP) 数据

电路与模拟电子技术：慕课版 / 李广明等编著. —
北京：人民邮电出版社，2018.2 (2018.6重印)
普通高等学校电类规划教材
ISBN 978-7-115-47093-5

I. ①电… II. ①李… 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.
①TM13②TN710

中国版本图书馆CIP数据核字 (2018) 第009855号

内 容 提 要

“电路与模拟电子技术”是计算机类各专业的一门理论性、实践性都比较强的基础课程。本书按照“应用型”人才培养目标的要求组织内容，从理论上较为系统地阐述了电路的基本概念、基本定理和基本分析方法。例题、思考题、应用能力培养课题等环节有助于将理论与实践相结合，从而立足于应用。

全书内容包括：电路的基本概念、基本定律，电路的基本分析方法，正弦稳态电路分析，电路的暂态分析，常用半导体器件与二极管电路，小信号放大电路基础，集成运算放大器，集成运算放大器的应用，直流稳压电源共9章。

本书注重学生的素质培养以及能力培养，兼顾了内容的广度和深度，重点突出，要点明确，真正体现了“应用型”人才培养的教学模式，适合作为高等院校计算机类各专业教学用书和学生用书，也适合用作信息、电子、自动控制等专业的教材和相关成人教育的教材，同时可供相关科技人员学习参考。

-
- ◆ 编 著 李广明 曾令琴 李建辉 黄锦旺 闫 曾
责任编辑 李 召
责任印制 沈 蓉 彭志环
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路11号
邮编 100164 电子邮件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京鑫正大印刷有限公司印刷
 - ◆ 开本：787×1092 1/16
印张：17.75 2018年2月第1版
字数：431千字 2018年6月北京第2次印刷
-

定价：54.00 元

读者服务热线：(010)81055256 印装质量热线：(010)81055316

反盗版热线：(010)81055315

学工服类本，理研黄调学工服类本，即一李调学工服类本，琴今曾调学商工联由并本
内容内并本秋跑宗书青党琴今曾，著融同共曾回调学本赴业用脉本既黄，著数李调学市越刻
封南端，并本用封做议夏丁改。并工图参又入融字文略全的并本丁既承曾回，并工数串暗全
郑青并，五能智进千能知及前，故文虽不味露带能由容中并议员人本赴界工味而姓的并本用

moos.8d1@nippgnihz :lismE :发式录

前言

“电路与模拟电子技术”课程是高等院校计算机类各专业的一门重要的专业基础课程，也是电子信息类、自动控制类专业学生知识结构的重要组成部分，在人才培养中起着十分重要的作用，具有较强的实践性。通过对“电路与模拟电子技术”课程的学习，可使学生掌握专业技术人员必须具备的电路基本原理、基本概念以及电路基本分析方法，初步掌握模拟电子技术常用器件的相关理论与实际应用，为后续专业课的学习奠定基础，同时能够提高自身理论联系实际的能力。

本书围绕“应用型”人才培养目标，立足于“加强基础、注重应用、精选内容、贴近实际”的原则，注意对先修课程及后续课程的合理分工与衔接、配合问题；同时兼顾对学生的素质培养，采用科学的方法对广泛而复杂的课程内容进行了合理的整合。在阐述课程中诸多重要知识点及重要概念时，作者逐字逐句进行推敲，力求做到文字方面的通俗易懂；同时就各个知识点及概念定律，精心选编了相关的例题与习题，以达到对学生的真正起到引路作用。本书还增加了实验和实践教学内容，真正把立足点移到了工程实际应用上，做到既为学生后续课程服务，又能直接服务于工程技术应用能力的培养，具有很强的实践性。另外，为了给教师和学生提供教学和学习上的方便，我们对教材进行了立体化建设，在纸质主教材内增加了所有相关知识的动感微课视频，用手机扫描二维码即可观看。为方便教师的教和学生的学，我们精心制作了品质较高、操作性较强的教学课件，并提供与教材相配套的章后习题详细解析、节后思考题解答等。

全书共分9章。其中电路基础部分包括1~4章，是课程的重要理论基础，建议多选，并保证足够的学时进行重点介绍，为后面模拟电子技术的学习打下扎实的理论基础。模拟电子技术部分建议把器件及其特性作为重点介绍，在此基础上讲应用。简化定量计算，突出定性分析。建议全课程理论总学时不低于80学时。

系方式: Email: zlingqin@163.com

编者

2017 年 12 月

目录

第1章 电路的基本概念、基本定律	1
1.1 电路和电路模型	1
1.1.1 电路的组成和功能	1
1.1.2 电路模型	2
1.1.3 理想电路元件	3
1.1.4 集总参数元件的概念	4
思考题	4
1.2 电路分析的基本变量	4
1.2.1 电流	4
1.2.2 电压	5
1.2.3 关联参考方向	5
1.2.4 电位及电路参考点	6
1.2.5 电功和电功率	7
思考题	8
1.3 电路基本定律	8
1.3.1 欧姆定律	8
1.3.2 几个常用的电路名词	9
1.3.3 基尔霍夫定律	9
思考题	12
1.4 独立电源	13
1.4.1 理想电压源	13
1.4.2 理想电流源	13
1.4.3 实际电源的两种电路模型	14
思考题	14
1.5 电路的等效变换	15
1.5.1 电阻之间的等效变换	15
1.5.2 电源之间的等效变换	17

1.5.3 电气设备的额定值与电路的工作状态	19
思考题	21
1.6 直流电路中的几个问题	21
1.6.1 电路中各点电位的计算	21
1.6.2 电桥电路	22
1.6.3 最大功率传输定理	23
1.6.4 受控源	24
思考题	25
应用能力培养课题: 基尔霍夫定律的验证实验	26
第1章 习题	27
第2章 电路的基本分析方法	30
2.1 支路电流法	30
思考题	31
2.2 网孔分析法	32
思考题	34
2.3 节点分析法	34
2.3.1 节点电压法	34
2.3.2 弥尔曼定理	36
思考题	37
2.4 叠加定理	37
思考题	39
2.5 戴维南定理	39
思考题	41
2.6 互易定理	41
2.6.1 互易定理的第一种形式	41

2.6.2 互易定理的第二种形式	41	3.6.3 非正弦周期信号的有效值、 平均值和平均功率	92
2.6.3 互易定理的第三种形式	42	3.6.4 非正弦周期信号作用下的线 性电路分析	94
思考题	43	思考题	96
应用能力培养课题: 叠加定理和 戴维南定理的验证	43	应用能力培养课题: 日光灯电路的 实验研究	96
第2章 习题	45	第3章 习题	98
第3章 正弦稳态电路分析	47	第4章 电路的暂态分析	103
3.1 正弦交流电的基本概念	47	4.1 暂态过程中的基本概念和 换路定律	103
3.1.1 正弦交流电的产生	47	4.1.1 暂态过程中的基本概念	103
3.1.2 正弦交流电的三要素	48	4.1.2 换路定律	104
思考题	52	4.1.3 初始值的计算	104
3.2 正弦量的相量表示法	52	思考题	106
3.2.1 相量的概念	52	4.2 一阶电路的零输入响应	106
3.2.2 相量图	53	4.2.1 RC 一阶电路的零输入响应	106
思考题	54	4.2.2 RL 一阶电路的零输入响应	107
3.3 单一参数的正弦稳态电路分析	55	思考题	108
3.3.1 电阻元件的正弦稳态电路	55	4.3 一阶电路的零状态响应	109
3.3.2 电感元件的正弦稳态电路	57	4.3.1 RC 一阶电路的零状态响应	109
3.3.3 电容元件的正弦稳态电路	60	4.3.2 RL 一阶电路的零状态响应	109
思考题	63	思考题	110
3.4 多参数的正弦稳态电路分析	63	4.4 一阶电路的全响应和三要素法	110
3.4.1 阻抗及串联正弦稳态电路的 分析	63	4.4.1 一阶电路的全响应	110
3.4.2 串联谐振	67	4.4.2 一阶电路暂态过程的三要素 分析法	112
3.4.3 导纳及并联正弦稳态电路的 分析	68	思考题	113
3.4.4 并联谐振	72	4.5 一阶电路的阶跃响应	113
3.4.5 正弦稳态电路的功率	73	4.5.1 单位阶跃函数	113
3.4.6 功率因数的提高	76	4.5.2 单位阶跃响应	115
思考题	79	思考题	116
3.5 三相正弦稳态电路的分析	79	4.6 二阶电路的零输入响应	116
3.5.1 三相电源的连接	79	思考题	118
3.5.2 三相负载的连接及分析方法	81	应用能力课题培养: 一阶电路的响应 测试	118
3.5.3 三相电路的功率	86	第4章 习题	120
思考题	87	第5章 常用半导体器件与二极管电路	123
3.6 非正弦周期电流电路	88	5.1 半导体基础知识	123
3.6.1 非正弦周期电路的基本 概念	88		
3.6.2 谐波分析和频谱	89		

5.1.1 半导体的独特性能	123	6.2 三种组态放大电路的性能比较	169
5.1.2 本征半导体	124	思考题	170
5.1.3 半导体的导电机理	125	6.3 单极型管的单级放大电路	170
5.1.4 杂质半导体	125	6.3.1 自给偏压电路	171
5.1.5 PN 结及其单向导电性	127	6.3.2 场效应管的微变等效电路	172
5.1.6 PN 结的反向击穿问题	129	6.3.3 共源极放大电路	172
思考题	130	6.3.4 共漏极放大电路	173
5.2 半导体二极管	130	思考题	175
5.2.1 二极管的结构类型	130	6.4 多级放大电路	175
5.2.2 二极管的伏安特性	131	6.4.1 多级放大电路的组成	175
5.2.3 二极管的主要技术参数	132	6.4.2 多级放大电路的级间耦合方式	175
5.2.4 二极管的应用	133	6.4.3 多级放大电路的性能指标估算	177
5.2.5 特殊二极管	135	思考题	178
思考题	139	6.5 放大电路的频率响应	178
5.3 双极型半导体三极管 BJT	139	6.5.1 频率响应的基本概念	178
5.3.1 BJT 的结构组成	139	6.5.2 放大电路的频率特性	178
5.3.2 BJT 的电流放大作用	140	6.5.3 波特图	180
5.3.3 BJT 的外部特性	142	6.5.4 多级放大电路的频率响应	181
5.3.4 BJT 的主要技术参数	143	思考题	182
5.3.5 复合晶体管	144	应用能力培养课题: 分压式偏置共射放大电路静态工作点的调试	182
思考题	145	第 6 章 习题	184
5.4 单极型半导体三极管 FET	145	第 7 章 集成运算放大器	187
5.4.1 单极型三极管概述	145	7.1 集成运算放大器的组成特点	187
5.4.2 场效应管的基本结构组成	146	7.1.1 集成电路概述	187
5.4.3 场效应管的工作原理	146	7.1.2 集成电路的组成及特点	187
5.4.4 场效应管的主要技术参数	148	思考题	188
5.4.5 场效应管的使用注意事项	149	7.2 差动放大电路	189
思考题	149	7.2.1 直接耦合放大电路需要解决的问题	189
应用能力培养课题: 常用电子仪器的使用	149	7.2.2 差动放大电路的组成	189
第 5 章 习题	152	7.2.3 差动放大电路的工作原理	190
第 6 章 小信号放大电路基础	155	7.2.4 差动放大电路的类型	192
6.1 小信号单级放大电路	155	7.2.5 恒流源式差动放大电路	192
6.1.1 小信号单级放大电路的基本组态	155	思考题	194
6.1.2 共射组态的单级放大电路	156	7.3 复合管放大电路	194
6.1.3 共集电极电压放大器	165	思考题	194
6.1.4 共基组态的单级放大电路	167		
思考题	169		

7.4 功率放大电路	194
7.4.1 功率放大器的特点及主要技术要求	195
7.4.2 功率放大电路中的交越失真	195
7.4.3 功率放大器的分类	196
7.4.4 采用复合管的互补对称功率放大电路	201
思考题	203
7.5 放大电路的负反馈	203
7.5.1 反馈的基本概念	203
7.5.2 负反馈的基本类型及其判别	203
7.5.3 负反馈对放大电路性能的影响	205
思考题	207
7.6 集成运算放大器及其理想电路模型	207
7.6.1 集成运算放大器的分类	208
7.6.2 集成运放管脚功能及元器件特点	209
7.6.3 集成运放的主要性能指标	210
7.6.4 集成运算放大器的理想化条件及传输特性	211
思考题	212
应用能力培养课题：电子电路识图、读图训练	212
第7章 习题	215
第8章 集成运算放大器的应用	217
8.1 集成运放的运算应用电路	217
8.1.1 反相比例运算电路	217
8.1.2 同相比例运算电路	218
8.1.3 反相求和运算电路	219
8.1.4 同相求和运算电路	220
8.1.5 双端输入差分运算电路	220
8.1.6 微分运算电路	221
8.1.7 积分运算电路	222
思考题	222
8.2 有源滤波器及其电路分析	222
8.2.1 滤波器的相关概念	223
8.2.2 常用有源滤波器的分类	223
8.2.3 有源低通滤波器 (LPF)	224
8.2.4 有源高通滤波器 (HPF)	225
8.2.5 带通滤波器 (BPF) 和带阻滤波器 (BEF)	225
8.2.6 集成运算放大器的线性应用举例	226
思考题	229
8.3 集成运算放大器的非线性应用	229
8.3.1 集成运放应用在线性区的特点	229
8.3.2 电压比较器	230
8.3.3 文氏桥正弦波振荡器	235
8.3.4 石英晶体振荡器	238
思考题	241
8.4 集成运算放大器的选择、使用和保护	241
8.4.1 集成运算放大器的选择	241
8.4.2 集成运算放大器的使用要点	242
8.4.3 集成运算放大器的保护	243
思考题	245
应用能力培养课题：集成运算放大器的线性应用电路实验	245
第8章 习题	247
第9章 直流稳压电源	249
9.1 小功率整流滤波电路	249
9.1.1 整流电路	249
9.1.2 滤波电路	252
思考题	255
9.2 稳压电路	255
9.2.1 直流稳压电源的主要性能指标	256
9.2.2 并联型直流稳压电路	256
9.2.3 串联型直流稳压电路	257
9.2.4 开关型直流稳压电路	259
9.2.5 调整管的选择	261
9.2.6 稳压电路的过流保护	262
思考题	263

9.3 集成稳压器.....	263	思考题	269
9.3.1 固定输出的三端集成稳压器.....	263	应用能力培养课程：整流、滤波和稳压电路的实验	269
9.3.2 可调输出三端集成稳压器	265	第9章 习题	271
9.3.3 使用三端集成稳压器时应注意的事项	268	参考文献	274

第

章

电路的基本概念、基本定律

随着科学技术的飞速发展,现代电工电子设备种类日益繁多,规模和结构更是日新月异,但无论怎样设计和制造,这些设备绝大多数仍是由各式各样的电路所组成。电路的结构不论多么复杂,它们和最简单的电路之间还是具有许多基本的共性,遵循着相同的规律。本章的重点就是要阐明这些共性及其分析电路的基本规律。

本章内容可划分为三个部分:电路的基本概念及电路物理量、基尔霍夫定律及电源模型、串并联等效。在“电路与模拟电子技术”课程中,本章内容既是贯穿全书的重要理论基础,也是实用电工电子技术中运用的理论依据,读者应在学习中予以足够的重视。

1.1 电路和电路模型



电路的组成和功能

电流所经过的路径称为电路。

1.1.1 电路的组成和功能

实际电路是由各种电路实体部件(如电源、电阻器、电感线圈、电容器、变压器、仪表、二极管、三极管等)组成。每一种电路实体部件具有各自不同的电磁特性和功能,按照人们的需要,把有关电路实体部件按一定方式进行组合,即构成一个个电路。如果某个电路元器件数量很多且电路结构较为复杂时,通常又称其为电网络。

在实际应用电路中,手电筒电路、单个照明灯电路是最为简单的电路实例,而电动机电路、雷达导航设备电路、计算机电路、电视机电路则是较为复杂的电路。无论应用电路简单还是复杂,其基本组成都离不开三个基本环节:电源、负载和中间环节。

电源:向电路提供电能的装置,如发电机、电池等。电源可以将其他形式的能量转换为电能。例如,发电机将热能、机械能或原子能等转换为电能,电池将化学能转换为电能。在电路中,电源是激励、是激发和产生电流的因素。

负载:在电路中接收电能的装置,如电动机、电灯等。负载把从电源接收到的电能转换为人们需要的能量形式。例如,电动机将电能转换为机械能带动生产机械运转,电灯将电能转换成光能和热能照明,充电的蓄电池将电能转换为化学能等。在电路中,负载是响应,是吸收电能和转换电能的各用电电器。

电路的基本概念、基本定律

本章内容可划分为三个部分：电路的基本概念及电路物理量，基尔霍夫定律及电源模型，电路等效。在“电路与模拟电子技术”课程中，本章内容既是贯穿全书的重要理论基础，也是实用电工电子技术中通用的理论依据，读者应在学习中予以足够的重视。

1.1.1 电路的组成和功能

实际应用电路中,手电筒电路、单个照明灯电路是最为简单的电路实例,而电动机电路、雷达导航设备电路、计算机电路、电视机电路则是较为复杂的电路。无论应用电路简单还是复杂,其基本组成都离不开三个基本环节:电源、负载和中间环节。

电源：向电路提供电能的装置，如发电机、电池等。电源可以将其他形式的能量转换成电能。例如，发电机将热能、机械能或原子能等转换为电能，电池将化学能转换为电能。在电路中，电源是激励，是激发和产生电流的因素。

中间环节：电源和负载之间的连通导线，控制电路通、断的各种开关设备，保护和监控实际电路的设备（如熔断器、热继电器、空气开关等）统称为电路的中间环节。中间环节在电路中起着传输和分配能量、控制和保护电气设备的作用。

工程实际中的应用电路，按照功能的不同可概括为两大类。

① 电力系统中的电路：特点是高功率、大电流。其主要功能是对发电厂发出的电能进行传输、分配和转换。

② 电子技术中的电路：特点是低功率、小电流。其主要功能是实现电信号的传输、变换、储存和处理。

1.1.2 电路模型

电路理论是一门建立在理想化模型基础上的公共基础性工程学科，电路理论研究的对象并不是工程实际电路，而是与工程实际电路相对应的、由理想电路元件按一定方式连接组成的电路模型。对实际电路进行模型化处理，就是要在工程允许的范围，用一些理想电路元件表征实际电路器件的主要电磁特性，忽略其次要因素，从而简化对实际问题的分析和计算。实践证明，这种抽象出实际电路器件的“电路模型”，是简化电路分析和计算的最行之有效的办法。

电路模型中的理想电路元件，是用数学关系式严格定义的假想电路元件，每一种理想电路元件的电特性都是单一、确切的，可用来精确地表示实际电路器件上具有的某种特定电磁性能。如理想电阻元件可用来表征实际电路器件上耗能的电特性；理想电感元件可用来表征实际电路器件储存或释放磁场能量的电特性；理想电容元件则用来表征实际电路器件上储存或释放电场能量的电特性。

例如，电炉的主要电磁特性是将电能转换成热能，且这种能量转换过程不可逆，属于耗能。电路理论中研究电炉电路时，根据其主要电磁特性可将电炉抽象为一个理想电阻元件，并且根据电炉耗能的多少赋予相应的阻值；实际电容器的主要工作方式是充、放电，充放电过程中表现的主要电磁特性是储存和释放电场能量，次要因素漏电现象可忽略时，在电路理论中可抽象为一个理想电容元件。显然，理想电路元件是在一定条件下实际电路器件的理想化和近似，其数学关系均对应实际电路器件的基本物理规律。

工程实际中的电感线圈，其主要电磁特性是吸收电能建立磁场，以达到机电能量转换目的。这种电磁特性可用一个理想的“电感元件”来表征。但是，实际电感线圈通常是在一个骨架上用漆包线绕制而成，根据热效应原理，漆包线通电后必定发热而产生能量损耗，即实际电感线圈“耗能”的电特性也往往不能忽视。这种情况下，电路中可用一个表征其建立磁场特性的电感元件和一个表征其耗能特性的电阻元件相串联作为这个实际电感线圈的电路模型。另外，用漆包线绕制而成的电感线圈，由于匝与匝之间、层与层之间相互绝缘，所以在高频情况下必然存在着电容效应。由此可知，同一实体电路部件，其电磁特性往往多元而复杂，并且在不同的外部条件下，它们呈现的电磁特性也会各不相同。即一种电路模型只对应一定条件下的一种情况，条件变了，电路模型也要作相应的改变。

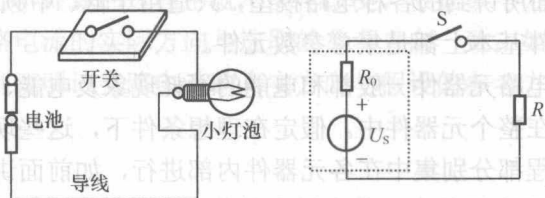
对实际元器件的模型化处理，使得不同的实体电路部件，只要具有相同的电磁性能，在一定条件下就可以用同一个电路模型来表示，显然降低了实际电路的绘图难度。而且，同一



电路模型

个实体电路部件,处在不同的应用条件和环境下,其电路模型可具有不同的形式。有时模型比较简单,仅由一种元件构成;有时比较复杂,可用几种理想元件的不同组合构成。这种对实际电路进行模型化处理的方法,给工程实际中的分析和计算带来了极大的方便。

图 1.1 所示是一个最简单的手电筒电路及其电路模型。



(a) 手电筒电路

(b) 电路模型

图 1.1 手电筒电路及其电路模型

由图 1.1 (a) 可看出,手电筒的实体电路画法较为复杂,而图 1.1 (b) 所示的电路模型显然清晰明了。

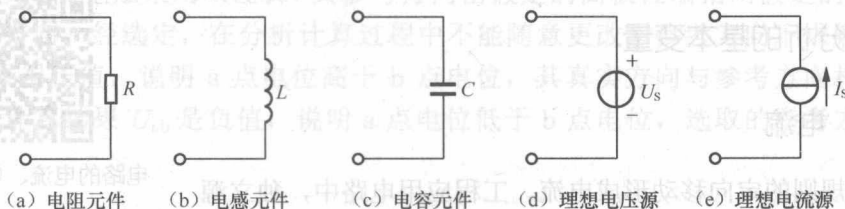
对电路进行分析,就是要寻求实际电路共有的一般规律,电路模型就是用来探讨存在于不同特性的各种真实电路中规律的工具,是与实际电路相对应的、由理想电路元件构成的电路图。

1.1.3 理想电路元件

实际电路元件的“理想电路模型”称为理想电路元件,可分为无源理想电路元件和有源理想电路元件两大类,如图 1.2 所示。



理想电路元件



(a) 电阻元件

(b) 电感元件

(c) 电容元件

(d) 理想电压源

(e) 理想电流源

图 1.2 理想电路元件的电路模型

图 1.2 (a) 所示为理想电阻元件的电路模型,理想电阻元件表征了电路中耗能的电特性;图 1.2 (b) 所示为理想电感元件的电路模型,表征了电路中建立磁场、储存磁能的电特性;图 1.2 (c) 所示为电容元件的电路模型,表征了电路中建立电场、储存电能的电特性。电阻元件、电感元件和电容元件均为无源二端理想电路元件,在电路中作为接收电能、转换电能的电路负载。图 1.2 (d) 的理想电压源和图 1.2 (e) 的理想电流源,是实际电压源和实际电流源的理想化电路模型,又称作电路的**独立源**。“独立源”担负着向电路各部分提供电压和电流的重任,是电路中的**激励**。无源二端元件是电路中三大基本元件,它们接收到的电压和电流称为**响应**。显然,电路中如果没有激励是会产生响应的,二者是一种因果关系。

电路模型具有两大特点:一是它里面的任何一个元件都是只具有单一电特性的理想电路

元件, 因此反映出的电现象均可用数学方式进行精确地分析和计算; 二是对各种电路模型的深入研究, 实质上就是探讨各种实际电路共同遵循的基本规律。

1.1.4 集总参数元件的概念

需要指出的是, 上面所讲到的各种电路模型, 只适用于低、中频电路的分析, 因为在低、中频电路中的电路元器件基本上都是集总参数元件。

实际电路中使用的电路元器件一般都和电能的消耗现象及电能、磁能的储存现象有关, 它们交织在一起并发生在整个元器件中。假定在理想条件下, 这些现象可以分别研究, 并且这些电磁现象和电磁过程都分别集中在各元器件内部进行, 如前面讲到的三大无源理想电路元件, 可称为集总参数元件。

所谓集总参数元件, 是指其次要因素可以忽略、且电磁过程都集中在元件内部进行的元件。而在高频和超高频电路中, 元器件上的电磁过程并不是集中在元件内部进行, 因此要用“分布电路模型”来抽象和进行描述。

本教材中如不作特殊说明, 电路中的元器件均按集总参数元件处理。

思考题

1. 电路由几部分组成, 各部分的作用是什么?
2. 实际电路可分为几大类? 种类功能是什么?
3. 何谓电路模型? 理想电路元件有哪些? 如何理解“理想”二字在实际电路中的含义?
4. 集总参数元件的特征是什么?

1.2 电路分析的基本变量

1.2.1 电流

电荷有规则的定向移动形成电流。工程应用电路中, 独立源向闭合电路激发电流, 负载接收电流将电能转换为其他形式的能量满足用户需求。单位时间内通过导线横截面的电荷量称为电流强度, 简称电流。

稳恒直流电路中, 电流的大小和方向不随时间变化, 采用大写英文字母 I 表示, 即

$$I = \frac{q}{t} \quad (1-1)$$

交流电路中, 电流的大小和方向随时间变化, 应采用小写英文字母 i 表示, 即

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1-2)$$

式 (1-1) 和式 (1-2) 中, 当电量 q 采用国际制单位库仑 (C)、时间 t 采用国际制单位秒 (s) 时, 电流 I (i) 的单位使用国际单位制安培 (A)。

电流还有较小的单位, 如毫安 (mA)、微安 (μA) 和纳安 (nA), 它们之间的换算关系为

$$1\text{ A} = 10^3\text{ mA} = 10^6\text{ }\mu\text{A} = 10^9\text{ nA}$$



交变的电路变量用小写英文字母表示，恒定的电路变量用大写英文字母表示。显然，电路变量表示不同时，代表的意义各不相同。这一点在电路理论中十分严谨，切不可张冠李戴。

电流变量是一个代数量，作为代数量只有大小没有方向显然无意义。求解电路时，应首先选定电流的参考方向，以确定其在电路方程中的正、负取值。电流的参考方向原则上可任意选取，但一经选定，分析计算的过程中就不能再改变。根据参考方向列方程求得某支路电流为正值时，说明该支路电流的实际方向与选取的参考方向一致；如果某支路电流在参考方向下计算结果为负值，则说明该支路电流的真实方向与假设的参考方向相反。

1.2.2 电压

根据物理学可知，电场力将单位正电荷从电场中的一点移至电场中的另一点所做的功定义为电压，如 a、b 两点的直流电压，其数学表达式为

$$U_{ab} = \frac{W_a - W_b}{q} \quad (1-3)$$

式中，当电功的单位用焦耳 (J)，电量的单位用库仑 (C) 时，电压的单位是伏特 (V)。电压的单位还有千伏 (kV) 和毫伏 (mV)，各种单位之间的换算关系为

$$1 \text{ V} = 10^{-3} \text{ kV} = 10^3 \text{ mV}$$

从工程实际应用的角度来看，电压是电路中两点电位之差，是产生电流的根本原因。在电路理论中，电压作为一个代数量，同样存在方向的问题。规定：某段支路或某元件上电压的方向，应由其高极性端“+”指向低极性端“-”，即电压的方向是电位降低的方向。因此，电学中通常又把电压称为电压降。

为了确定某电压在电路方程中的正、负取值，分析计算前，需要在电路图上标出各电压的参考方向。电压采用双注脚，其参考方向由假定的高极性端指向假定的低极性端。同样，参考方向一经选定，在分析计算过程中不能随意更改。参考方向下求解出某电压 U_{ab} 计算结果得正值，说明 a 点电位高于 b 点电位，其真实方向与参考方向相符；如果参考方向下计算结果 U_{ab} 是负值，说明 a 点电位低于 b 点电位，选取的参考方向与真实方向相反。

1.2.3 关联参考方向

电路分析的任务是已知电路中的元件参数和“激励”(电源)，去寻求电路中的“响应”(电压和电流)，从而得到不同电路激励所对应的不同“响应”的规律。“寻求规律”是要有依据的，这个依据就是对电路列写方程式或方程组。在电路图上标出电压、电流的参考方向，就是为电路方程式中的各电量提供正、负依据，在这些参考方向下方可列出相应的电路方程，进而求得“响应”(待求电压、电流)的结果。



参考方向

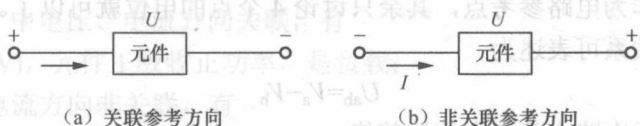


图 1.3 关联与非关联参考方向

在分析和计算电路的过程中,各电流、电压的参考方向是任意选定的,两者之间相对独立。参考方向是人为假定的分析依据,一经确定,整个分析过程中就不能再随意更改。但是,为了方便起见,当假设某元件是负载时,一般把元件两端电压的参考方向与通过元件中电流的参考方向选成一致,如图 1.3 (a) 所示。这种参考方向称为关联参考方向。关联参考方向下如果电压、电流都是正值,说明元件的真实性质是负载,电流通过负载时进行能量转换,使元件的电流流出端电位降低;当假设某元件是电源时,参考方向一般选择非关联参考方向,如图 1.3 (b) 所示。元件究竟是负载还是电源,需根据计算结果来判断。关联参考方向下如果元件上电压为正、电流为负,或电压为正、电流为负,都说明元件上的电压、电流真实方向为非关联,原来假定的负载实际上是一个电源。

运用参考方向时,有两个问题要注意。

① 参考方向是列写方程式的需要,是待求值的假定方向而不是待求值的真实方向,所以不必去追求其物理实质是否合理。

② 在分析、计算电路的过程中,出现“正、负”“加、减”及“相同、相反”这几个概念时,切不可把它们混为一谈。

1.2.4 电位及电路参考点

电路中各点位置上所具有的电势能称为电位。物理学中定义:电场力把单位正电荷从电场中某 X 点移到参考点所做的功称为 X 点的电位,用 V_X 表示,采用单注脚。电位定义式的表达形式显然与电压类同,因此它们的单位相同,都是伏特 (V)。所不同的是:电位是某点到参考点的电压,其高低正负均相对于参考点而言,规定电路参考点的电位为零。某点电位为正值,说明该点电位比参考点电位高;某点电位为负值,说明该点电位相对参考点低。这就好比空间讲高度一样,规定海平面的高度为参考零高度,则各处空间高度均以海平面为基准测出其高度值,没有参考高度讲空间各点的高度无意义。同样,电路中的电位也具有相对性,只有先明确了电路的参考点,再讨论电路中各点的电位才有意义。

电路参考点的选取理论上任意。但实际应用中,由于大地的电位比较稳定,所以经常以大地作为电路参考点。有些设备和仪器的底盘、机壳往往需要与接地极相连,这时我们也常选取与接地极相连的底盘或机壳作为电路参考点。电子技术中的大多数设备,很多元件常常汇集到一个公共点,为分析和研究实际问题的方便,又常常把电子设备中的公共连接点作为电路的参考点。

实际上,电路中某点电位的数值,等于该点到参考点之间的电压。因此,在电子技术中检测电路时,常常选取某一公共点作为参考点,用电压表的负极表棒与该点相接触,而正极表棒只需点其他各点来测量它们的电位是否正常,即可找出故障点。引入电位的概念后,给分析电路中的某些问题带来了不少方便。例如,一个电子电路中有 5 个不同的点,任意两点间均有一定的电压,直接用电压来讨论要涉及到 10 个不同的电压,而改用电位讨论时,只需把其中的一个点作为电路参考点,其余只讨论 4 个点的电位就可以了。

电压和电位的可表述为

$$U_{ab} = V_a - V_b \quad (1-4)$$

即电压在数值上等于电路中两点电位的差值。

1.2.5 电功和电功率

1. 电功

电流能使电动机转动, 电炉发热, 电灯发光, 说明电流具有做功的本领。电流做的功称为电功。电流做功的同时伴随着能量的转换, 其做功的大小显然可以用能量进行度量, 即

$$W=UIt \quad (1-5)$$

式中电压的单位用伏特 (V), 电流的单位用安培 (A), 时间的单位用秒 (s) 时, 电功 (或电能) 的单位是焦耳 (J)。

工程实际中, 还常常用千瓦小时 (kWh) 来表示电功 (或电能) 的单位, 1 kWh 俗称为一度电。一度电的概念可用下述例子解释: 100 W 的灯泡使用 10 个小时耗费的电能是 1 度; 40 W 的灯泡使用 25 小时耗费电能也是 1 度; 1000 W 的电炉加热一个小时, 耗费电能还是 1 度, 即 $1 \text{ 度} = 1 \text{ kW} \times 1 \text{ h}$ 。

2. 电功率

单位时间内电流做的功称为电功率。电功率用 P 表示, 即

$$P = \frac{W}{t} = \frac{UIt}{t} = UI \quad (1-6)$$

式中电功的单位用焦耳 (J), 时间的单位用秒 (s), 电压的单位为伏特 (V), 电流的单位为安培 (A) 时, 电功率的单位是瓦特 (W)。

用电器铭牌上标示的电功率是它的额定功率, 是用电设备能量转换本领的度量, 例如 “220 V, 100 W” 的白炽灯, 说明它两端加 220 V 电压时, 可在 1 s 内将 100 J 的电能转换成光能和热能; 1 只 “220 V, 40 W” 的白炽灯, 则指它两端加 220 V 电压时, 在 1 s 内只能将 40 J 的电能转换成光能和热能, 显然, “220 V、100 W” 的白炽灯能量转换的本领大。需要注意的是: 用电器实际消耗的电功率只有实际加在用电器两端的电压等于它铭牌数据上的额定电压时, 才等于它铭牌上的额定功率。用电器上加的实际电压小于额定电压时, 由于用电器的参数不变, 则通过的电流也一定小于额定电流, 电功率是电压和电流的乘积, 因此实际功率必定小于额定功率; 当用电器上加的实际电压大于额定电压时, 由于用电器的参数不变, 则通过的电流也一定大于额定电流, 实际功率也必定大于额定功率。

电路理论中, 电功率也是一个有正、负之分的代数量。当一个电路元件上消耗的电功率为正值时, 说明这个元件在电路中吸收电能, 是负载; 若电路元件上消耗的电功率为负值时, 说明它非但没有吸收电能, 反而在向外供出电能, 起电源的作用, 是电源。

例 1.1 二端电路对应某时刻各元件上的电压、电流情况如图 1.4 所示。求该时刻各元件上的功率, 并判断各元件的性质。

解: 图 1.4 (a) 中电压、电流方向关联, 有

$P=UI=3 \times 1=3(\text{W})$, 元件 1 吸收正功率, 是负载;

(b) 中电压、电流方向非关联, 有

$P=-UI=-(-2) \times 5=10(\text{W})$, 元件 2 吸收正功率, 是负载;



电功和电功率