



21 世纪高等院校电气工程与自动化规划教材

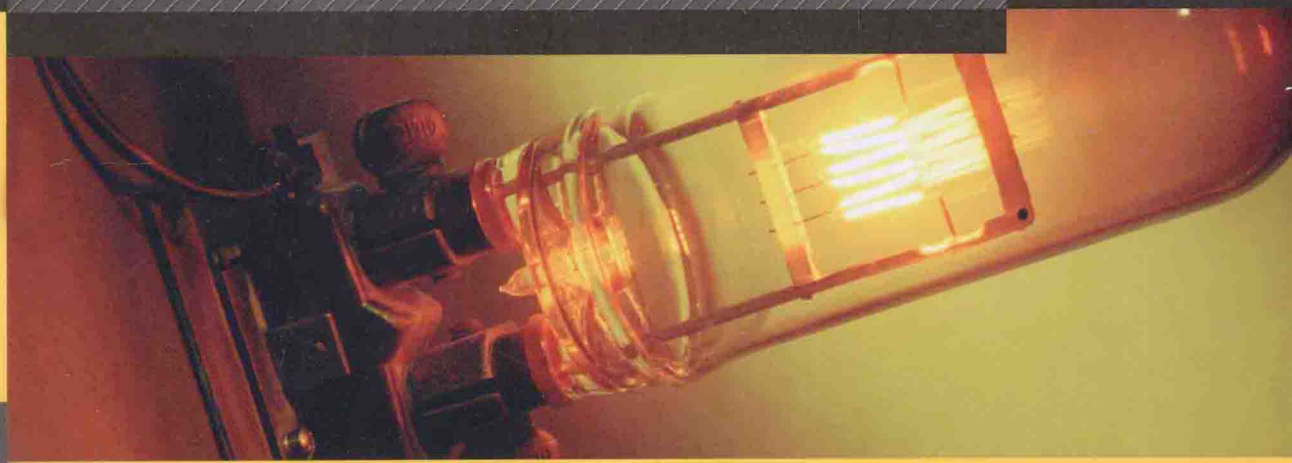
21 century institutions of higher learning materials of Electrical Engineering and Automation Planning

**B**asis of Electrical Circuit Analysis

# 电路分析 基础

李丽敏 张玉峰 主编

徐志如 蒋野 副主编



 人民邮电出版社  
POSTS & TELECOM PRESS



21 世纪高等院校电气工程与自动化规划教材  
21 century institutions of higher learning materials of Electrical Engineering and Automation Planning

**B**asis of Electrical Circuit Analysis

# 电路分析 基础

李丽敏 张玉峰 主编  
徐志如 蒋野 副主编

人民邮电出版社

北京

## 图书在版编目 (C I P) 数据

电路分析基础 / 李丽敏, 张玉峰主编. — 北京 :  
人民邮电出版社, 2014. 10  
21世纪高等院校电气工程与自动化规划教材  
ISBN 978-7-115-37155-3

I. ①电… II. ①李… ②张… III. ①电路分析—高等  
学校—教材 IV. ①TM133

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第238912号

## 内 容 提 要

本书根据教育部2004年修订的《电路分析基础课程教学基本要求》,结合电类课程教学改革形势和实际需要编写而成。全书共分为15章,主要内容包括电路模型和电路定律、电阻电路的等效变换、电阻电路的一般分析、电路定理、动态电路、相量法、正弦稳态电路的分析、三相电路、含有耦合电感的电路、非正弦周期电流电路、拉普拉斯变换、网络函数、电路方程的矩阵形式、二端口网络、非线性电路简介,另有附录,内容包含磁路、仿真软件Multisim12在电路分析中的应用。书中每章都有应用实例,以加强与后续课程及实际工程的联系,同时还配有精选的例题、思考与练习题、自测题和习题,每章后附有小结。为适应多媒体教学的需要,方便教师施教和读者学习,全部内容、例题和课后习题都配有PPT课件,提供详细的解题步骤和图解说明。

本书结构新颖,内容全面,通俗易懂,便于教学,重点突出,注重实用。本书可供高等学校、职业院校、成人教育等电气、电子类和其他相近专业的师生使用,也可作为研究生入学考试的复习用书,还可以供有关专业工程技术人员阅读参考。

- 
- ◆ 主 编 李丽敏 张玉峰  
副 主 编 徐志如 蒋 野  
责任编辑 张孟玮  
执行编辑 税梦玲  
责任印制 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>  
北京昌平百善印刷厂印刷
  - ◆ 开本: 787×1092 1/16  
印张: 23.5 2014年10月第1版  
字数: 529千字 2014年10月北京第1次印刷

---

定价: 52.00元

读者服务热线: (010)81055256 印装质量热线: (010)81055316  
反盗版热线: (010)81055315

近几年,高校开始进行大类招生,学生在一二年级不分专业,按学科大类统一学习规定的基础平台课程。很多高校已将“电路分析基础”“模拟电子技术基础”和“数字电子技术基础”这3门课程列为基础教学平台课程,以加强通识教育,实行宽口径知识培养。为了更好地满足大类招生对课程教学内容的需求,结合目前课程教学改革的标准和要求,以及科学技术的新发展,编者在多年课程教学改革和实践探索的基础上,总结经验,针对学生学习中经常遇到的困难,尝试采用教、学、做一体化形式编写本书。

本书在编写时立足于“结构新颖,整体贯通,深入浅出,化难为易,好学易懂,重点突出,便于自学,利于教学”。与同类教材相比,本书更加注重电路基本概念的讲解,解题技能的训练,注重培养学生的电路分析、工程设计与实践能力。本书既能满足教学基本要求又有加深拓宽,对强电专业和弱电专业都适用,具有如下特色:

#### (1) 联系当前科学技术发展新成果,关注本学科发展前沿动态

电路分析基础是高等学校工科电类专业的第一门专业基础课程,也是研究生入学考试课程之一。对电类各门学科的认识都是从这里开始的,能否打好基础,对以后的学习至关重要。现代一切新的科学技术无不与电有着密切的联系,说它是打开科学宝库的钥匙也不过分。为此,本书在绪论中介绍了电磁理论及相关科学技术的发展简史、课程的前沿内容和最新动态、课程中的热点问题和最新思维方法的应用情况,目的是激发学生热爱科学技术和自立自强的爱国主义精神,激发他们在电气、电子和计算机工程方面的兴趣。

#### (2) 与时俱进优化教学内容,体现科学性,突出实践性和应用性

为深化教学内容改革,本书融入了新知识、新理论和新技术。每章以内容提要和本章目标开头,使学生能在学习前明确目标;每章结尾部分有把主要知识点进行梳理的本章小结和整合应用的工程实例佐证。各章小结提纲挈领,对重要的知识点进行归纳比较,以便学生掌握内容的核心;“应用实例”部分描述了教材中的知识在实际中的应用,包含有设备图片或必要的电路原理图,目的是向学生演示怎样将所学到的公式和理论应用到实际,使学生了解到学与用的关系,以解决理论知识与实践应用脱节、学校教育与社会需求脱节等问题。

#### (3) 采用“教、学、练、思”相结合的原则,培养学生思、学、用

编者力求反映应用型本科课程和教学内容体系改革方向,反映当前教学的新内容,突出基础理论知识的应用和实践技能的培养。鼓励学生积极思考,培养学生分析问题和解决问题的能力,才能使适应科技飞速发展的社会要求。本书每小节后都有思考与练习题,有利于学生对重点难点等核心问题的掌握。每章精选各类选择题、判断题和填空题作为自测题,这些题目

可以进一步测试对目标的掌握情况；另外还有难易度适中的习题和有些难度的提高题，这种题不要求人人会做，是给学有余力和要考研的学生提供的。每章都含有多个例题，以例题的形式解释书中提出的概念，目的是说明特殊概念的应用、训练解题方法、解题技巧和使用不同方法验证结果。力争每一部分知识都让学生知道来龙去脉，也为后继学习做好铺垫。

#### (4) 反映最新的技术与教学趋势，建设立体化教材，提供全方位的教学解决方案

本课程的特点是电路图较多，传统的黑板加粉笔的教学方法难以提供较大的信息量，而且不可避免地要画大量电路图，既费时又费力。利用多媒体 PPT 教学，不仅可以大大减少教师的重复性劳动，且因其图文并茂、形象逼真、信息量大，可增强学生注意力，达到最佳学习效果。为了适应教学改革的需要，作者制作了电路多媒体课件，并引入电路教学。本书所有内容、例题和课后习题都配有 PPT 课件，都有详细的解题步骤和图解说明，经过三年的试用和完善，得到了师生的好评。

提供用 Authorware 制作的 PPT，而且在 PPT 的改进过程中，特别考虑了电路分析方法上的推演和步骤，采取过程显示的方式顺序给出相应的内容。教师可根据课程内容和学生反应决定播放进度，以达到互动教学的目的。动感的、交互的多媒体课件精选教学内容，优化编排体系，既符合教学大纲要求，又形成了独特的风格。

#### (5) 体现先进性，注重新技术的介绍和应用

电路理论教学多数是阐述理论和推导数学公式，既抽象又难以理解，学生容易陷入被动学习的境地，从而产生厌学情绪。Multisim 仿真软件逼真的人机交互界面，可使抽象、晦涩难懂的理论知识变得直观且易于理解。编者将仿真技术与多媒体应用相结合，在理论教学中直接嵌入仿真实验，将传统教室变为虚拟实验室，实现理论与实践教学一体化，大大调动了学生的学习积极性和主动性。仿真实验在教学模式的创新与实践中，对于帮助学生树立理论联系实际的工程观点，提高分析问题、动手能力和自主探究精神都起着非常重要的作用。为此，附录中增加了仿真软件 Multisim12 在电路分析中的应用的內容。仿真可以将电路性能可视化、验证计算结果、减少复杂电路的计算量、使用参数变量实现理想的解决方法等，对学生学习过程具有辅助作用，且解决了高等教育中学生实验实践设备成本高，资源匮乏等诸多困难。并且这种理论分析之后加以仿真实验的教学方法有利于学生掌握电路理论基础知识，让学生体验如何分析电路、设计电路，以提高学生的综合职业技能，为高等教育人才的培养提供质量保证。

本书由佳木斯大学李丽敏、张玉峰任主编，徐志如、蒋野任副主编，史庆军任主审。具体编写人员为：李丽敏（绪论和第 1 章），王全（第 2 章和第 14 章），黄金侠（第 3 章和第 4 章），张玲玉（第 5 章和第 15 章），徐志如（第 6 章和第 7 章），蒋野（第 8 章和附录 B），张玉峰（第 9 章和附录 A），李凤霞（第 10 章和第 11 章），赵智超（第 12 章和第 13 章）。全书由李丽敏、张玉峰统稿，且李丽敏制作了全部配套的电路多媒体教学课件 PPT。主审史庆军和学校其他教师及学生也为本书的编写提出了宝贵的建议，在此谨致以诚挚的谢意。

本书虽然在主观上力求精雕细镂、谨慎从事，但限于学识与经验，书中难免有疏漏和局限之处，恳请读者不吝赐教、批评指正，“嚶其鸣矣，求其友声”，以进一步提高本书的质量和水平。

编者

2014 年 6 月

# 目 录

绪论	1	4.2 替代定理	76
第 1 章 电路模型和电路定律	7	4.3 戴维宁定理和诺顿定理	78
1.1 实际电路和电路模型	7	4.4 最大功率传输定理	83
1.2 电流、电压及其参考方向	10	4.5 特勒根定理	85
1.3 电功率和电能	12	4.6 互易定理	88
1.4 电阻元件	14	4.7 对偶原理	89
1.5 独立电源	18	4.8 应用实例	91
1.6 受控电源	21	本章小结	94
1.7 基尔霍夫定律	23	自测题	94
1.8 应用实例	26	习题	95
本章小结	27	第 5 章 动态电路	99
自测题	28	5.1 动态元件	99
习题	29	5.2 动态电路的方程及其初始条件	104
第 2 章 电阻电路的等效变换	32	5.3 一阶线性电路响应	108
2.1 电路的等效变换	32	5.4 一阶电路的阶跃响应和冲激响应	114
2.2 电阻的等效变换	33	5.5 应用实例	120
2.3 独立源的等效变换	39	本章小结	122
2.4 含受控源一端口网络的等效	42	自测题	123
2.5 应用实例	44	习题	124
本章小结	45	第 6 章 相量法	128
自测题	47	6.1 正弦交流电的基本概念	128
习题	48	6.2 正弦量的相量表示法	131
第 3 章 电阻电路的一般分析	51	6.3 电路定律的相量形式	136
3.1 电路的拓扑图及电路方程的独立性	51	6.4 应用实例	141
3.2 $2b$ 法和支路法	54	本章小结	142
3.3 网孔电流法	56	自测题	142
3.4 回路电流法	58	习题	143
3.5 节点电压法	61	第 7 章 正弦稳态电路的分析	145
3.6 应用实例	66	7.1 阻抗和导纳	145
本章小结	68	7.2 正弦稳态电路的分析	150
自测题	68	7.3 正弦稳态电路的功率	155
习题	69	7.4 功率因数及其提高	158
第 4 章 电路定理	73	7.5 最大功率传输	161
4.1 叠加定理	73		

7.6 串、并联谐振	162	本章小结	241
7.7 应用实例	166	自测题	242
本章小结	167	习题	242
自测题	168	<b>第 12 章 网络函数</b>	244
习题	169	12.1 网络函数的定义	244
<b>第 8 章 三相电路</b>	173	12.2 网络函数的极点和零点	247
8.1 三相电路的基本概念	173	12.3 极点、零点与冲激响应	248
8.2 对称三相电路的计算	176	12.4 极点、零点与频率响应	251
8.3 不对称三相电路的分析	179	12.5 卷积	252
8.4 三相电路的功率及测量	182	12.6 应用实例	254
8.5 应用实例	185	本章小结	255
本章小结	187	自测题	256
自测题	188	习题	257
习题	189	<b>第 13 章 电路方程的矩阵形式</b>	259
<b>第 9 章 含有耦合电感的电路</b>	191	13.1 割集	259
9.1 耦合电感	191	13.2 关联矩阵、割集矩阵和回路 矩阵	261
9.2 含有耦合电感电路的计算	194	13.3 回路电流方程的矩阵形式	269
9.3 空心变压器	198	13.4 节点电压方程的矩阵形式	272
9.4 理想变压器	201	13.5 割集电压方程的矩阵形式	275
9.5 应用实例	205	13.6 状态方程	277
本章小结	206	13.7 应用实例	279
自测题	207	本章小结	281
习题	208	自测题	282
<b>第 10 章 非正弦周期电流电路</b>	210	习题	282
10.1 非正弦周期信号	210	<b>第 14 章 二端口网络</b>	284
10.2 非正弦周期函数分解为傅里 叶级数	211	14.1 二端口网络的概念	284
10.3 有效值、平均值和平均功率	215	14.2 二端口网络的方程和参数	285
10.4 非正弦周期电流电路的计算	217	14.3 二端口的等效电路	294
10.5 应用实例	221	14.4 二端口的转移函数	296
本章小结	222	14.5 二端口的连接	300
自测题	223	14.6 应用实例	303
习题	224	本章小结	306
<b>第 11 章 拉普拉斯变换</b>	226	自测题	306
11.1 拉普拉斯变换及其基本性质	226	习题	307
11.2 拉普拉斯反变换	230	<b>第 15 章 非线性电路简介</b>	309
11.3 运算电路	233	15.1 非线性元件	309
11.4 应用拉普拉斯变换法分析线性 电路	236	15.2 非线性电阻电路的分析	314
11.5 应用实例	240	15.3 非线性电路中的混沌现象	320
		15.4 应用实例	322

本章小结 .....	322	附录 B 仿真软件 Multisim12 在电路	
自测题 .....	323	分析中的应用 .....	348
习题 .....	324	B.1 仿真软件 Multisim12 简介 .....	348
<b>附录 A 磁路与铁心线圈电路</b> .....	<b>326</b>	B.2 仿真软件 Multisim12 的操作	
A.1 磁场的基本物理量 .....	326	界面 .....	349
A.2 磁性材料的磁性能 .....	328	B.3 仿真软件 Multisim12 的仿真	
A.3 磁路及其基本定律 .....	329	方法 .....	351
A.4 恒定磁通磁路的计算 .....	331	B.4 Multisim12 电路分析基础仿真	
A.5 交变磁通磁路的分析 .....	338	实例 .....	353
A.6 铁心线圈 .....	341	<b>部分习题答案</b> .....	<b>355</b>
		<b>参考文献</b> .....	<b>368</b>



## 电磁理论及相关科学技术的发展简史

当今是电气化、信息化社会，现代化的生产、科研、国防和日常生活都离不开电。电是一种优越的能量形式和信息的载体，具有容易传输、容易变换和容易控制的特点。人们衣食住行的基本生活条件，家庭生活中使用的大、小家用电器，工农业生产中使用的各种自动控制生产线，科学研究中使用的各种精密实验仪器、测量系统、计算机网络、航天器（比如我国的嫦娥三号、神十飞天）、水下核潜艇的潜与浮的控制都离不开电的支撑。电不仅是现代化工农业生产和交通运输的主要动力来源，也是信息技术的重要基础。电的理论基础是电磁学和电子学，其发展蕴含着很多伟人不懈的努力，我们每天都在享用他们极富创意的心智所带来的成果。

### 一、电磁学发展简史

1600年，英国物理学家吉尔伯特发表了一部巨著《论磁》，是物理学史上第一部系统阐述电与磁的科学专著，为电磁学的产生和发展创造了条件，因此他被誉为“电学之父”。

1746年，美国科学家富兰克林开始研究电现象，进一步揭示了电的性质，并提出了电流这一术语。富兰克林制造出了世界上第一个避雷针。

1785年，法国物理学家库仑得出了历史上最早的静电学定律——库仑定律。它标志着电磁学研究从定性进入了定量阶段，是电磁学史上的一座重要的里程碑。

1800年，意大利物理学家伏特发明了第一块电池——铜锌电池，使电学从对静电的研究进入到对动电的研究，推动了电学的发展。

1820年，丹麦物理学家奥斯特发现了电流的磁效应，在电与磁之间架起了一座桥梁，证明了电和磁能相互转化，这为电磁学的发展打下了基础。

1825年，法国物理学家安培提出了著名的安培定律，为电动机的发明做了理论上的准备，奠定了电动力学的基础。

1826年，德国科学家欧姆深入地研究了导线传送电流的能力，提出了著名的欧姆定律。

1831年，英国物理学家法拉第首次发现电磁感应现象，把电与磁两种现象最后联结起来了。他的发现为建立电磁场的理论体系打下了基础，开创了电气化时代的新纪元，具有划时代的意义。

1832年，美国科学家亨利发现了电的自感现象，还发明了继电器、无感绕组等。

1833年，俄国物理学家楞次发现了楞次定律，说明电磁现象也遵循能量守恒定律。

1837年，美国人莫尔斯用编码方式发明了有线电报，有线电报的发明具有划时代的革命意义。

1845年，德国物理学家基尔霍夫提出了电路中的基本定律——基尔霍夫定律。基尔霍夫被称为“电路求解大师”。

1853年，德国物理学家亥姆霍兹提出了电路中的等效发电机原理。至此，包括传输线在内的电路理论基本建立起来了。

1864年，英国物理学家麦克斯韦建立了统一的电磁理论，预言了电磁波的存在，为电路理论奠定了坚实的基础。

1866年，德国工程师西门子提出了发电机的工作原理，完成了第一台直流发电机，从此电气化时代开始了。

1876年，美国科学家贝尔发明了电话，实现了通信技术的飞跃。

1879年，美国发明家爱迪生经过几千次的实验发明了白炽灯，并创办了“爱迪生电力照明公司”。他还制成了当时世界上容量最大的发电机，并在纽约建立了第一座发电厂，开辟了第一个民用照明系统，开启了人类史上的“电力时代”。尽管他一生只在学校里读过三个月的书，却有电灯、电报、留声机、电影等1000多种发明成果，被誉为“发明大王”，为人类的文明和进步做出了巨大的贡献。当有人称爱迪生是个“天才”时，他却解释说：“天才就是百分之一的灵感加上百分之九十九的汗水。”他经常通宵达旦地工作，被人笑作“工作虫”。他曾说过：“我的人生哲学是工作，我要揭示大自然的奥秘，并以此为人类造福。”

1887年，克罗地亚裔美国工程师特斯拉发明了交流电电力系统，并制造出世界上第一台交流发电机，创立了多相电力传输技术。他一生拥有700多项专利。在他的多项发明中，感应电动机与首个多相交流电源系统对交、直流电之争的尘埃落定产生了极大的影响，有利地促进了交流电的普及与应用。他提出的多相交流发电、输电和配电系统得到了极高的声誉并被业界所接受。他的其他发明包括高压设备（特斯拉线圈）及无线传输系统等。磁通密度的单位特斯拉，就是为了纪念他而以他的名字命名的。特斯拉对人类有着重大的贡献，他放弃了交流电的专利权收费供世人免费使用，否则他会是世界上最富有的人。他的梦想就是给世界提供用之不竭的能源。19世纪末，交流电地位的确立，成为电力系统大发展的起点。

1894年，意大利物理学家马可尼和俄国工程师波波夫分别发明了无线电。从此进入了无线电通信时代，开创了人类通信的新纪元。

## 二、电子技术发展简史

1895年，荷兰物理学家洛伦兹提出了著名的洛伦兹力公式，他是经典电子论的创立者。随之而来的是电子技术的迅速发展，特别是在信息技术上的广泛应用。

1904年，英国工程师弗莱明发明了电子二极管，标志着世界从此进入了电子时代。

1906年，美国德福雷斯特制成电子三极管，具有放大与控制作用。1914年，又用电子三极管构造了振荡电路。

1925年，英国人贝尔德发明了电视。他的其他发明贡献包括发展光纤、无线电测向仪、红外线夜视镜及雷达。1936年，黑白电视机问世。

1946年，第一台电子管计算机在美国宾夕法尼亚大学制成，取名埃尼阿克（eniac），重30吨，占地150平方米，内部装有18800只电子管。

1947年,美国贝尔实验室的肖克莱、巴丁和布拉顿三人发明了点接触型晶体管。晶体管的问世,是20世纪的一项重大发明,是微电子革命的先声,又为后来集成电路的降生吹响了号角。

1958年,美国物理学家基尔比发明了集成电路,它将构成电子电路的电阻、电容、二极管、晶体管和导线等都制作在一块几平方毫米的半导体芯片上,从而使体积大大缩小。电子技术进入了集成电路时代,开创了电子技术历史的新纪元。目前的超大规模集成,在几平方毫米的芯片上有上百万个元器件,已经进入“微电子”时代。

1981年,美国的比尔·盖茨正式推出了IBM个人电脑。由于它价廉、方便、可靠、小巧,大大加快了电子计算机的普及速度。目前计算机每秒运算速度已达10亿次。现在正在研究开发第五代计算机(人工智能计算机)和第六代计算机(生物计算机)。大体上每隔5~8年,运算速度提高10倍,体积缩小10倍,成本降低10倍。电子计算机广泛应用于生产、科研、国防、教育和医疗卫生等领域。以全球互联网络为标志的信息高速公路正在缩短人类交往的距离,以计算机技术、微电子技术和通信技术为特征的信息技术革命正方兴未艾,从而引起了工业、生物医疗、测量、通信、自动控制、空间技术、新材料技术、新能源技术、遥感技术和光纤技术等广泛领域的革命性发展。信息化与电气化相互融合、相互促进,正使人类全球化,并进入了一个新经济时代。

实践不断发展,认识不断深化,创新不断出现。从电子管到晶体管,从模拟电路到数字电路,从线性电路到非线性电路,从分立元件到集成电路,从小规模集成到大规模集成,从人工设计到自动设计等,不断地从低级向高级发展。目前,关于电路理论的研究更加深入,应用的领域更加广泛,发展的前景更加可观。

## 电路理论的发展历史和最新动态

电路理论起源于物理学中电磁学的一个分支,若从欧姆定律(1826年)和基尔霍夫定律(1845年)的发表算起,至今已走过了一百多年的发展历程,已发展成为一门体系完整、逻辑严密、具有强大生命力的学科领域。电力和电信工程的发展要求对信号的传输进行系统的研究,并按照给定的特性来设计各种电路,促进了电路理论的早期发展。第二次世界大战中雷达和近代控制技术的出现,对电路理论的发展起了推进作用。

20世纪30年代开始,电路理论已形成为一门独立学科,以电阻、电容、电感及电源等理想电路元件作为电路的基本模型,近似地表征成千上万种实际电气装置,建立了各种元件的电路模型。并随着电力、通信、控制三大系统的要求由时域分析发展到频域分析与电路设计。50年代末,电路理论在学术体系上基本完善,这个阶段称为经典电路理论。

在20世纪60年代以后,电路理论又经历了一次重大的变革,这一变革的主要起源是新型电路元件的出现,集成电路、大规模集成电路、超大规模集成电路的飞跃进展,计算机技术的迅猛发展和广泛使用等,都给电路理论提出了新课题。第二次世界大战后,自动控制、信息科学、半导体电子学、微电子学、数字计算机、激光技术及核科学和航天技术等新兴尖端科学技术以惊人的速度突飞猛进,与它们密切相关的电路理论从60年代起不得不在内容和概念上进行不断的调整和革新,以适应科学技术“爆炸”的新时代,促使电路理论发展到近代电路理论。其主要特点之一是将图论引入电路理论之中,它为应用计算机进行电路分析和集成电路布线与板图设计等研究提供了有利的工具;特点之二是出现大量新的电路元件、有源器件,如使用低电压的MOS电路,摒弃电感元件的电路,进一步摒弃电阻的开关电容电路

等,当前,有源电路的综合设计正在迅速发展之中;特点之三是在电路分析和设计中应用计算机后,使得对电路的优化设计和故障诊断成为可能,大大地提高了电子产品的质量并降低了成本。

在通信、控制、计算机、电力等众多科学技术领域,广泛使用各种类型的电路:线性的与非线性的、时变的与非时变的、模拟的与数字的等等。它们种类繁多、功能各异,人们可以通过各种电路来完成各种任务。如:供电电路用来传输电能;整流电路可以将交流电变成直流电;滤波电路可以“滤掉”附加在有用信号上的噪声,完成信息处理的任务;计算机的存储电路具有存储功能。这些纷繁复杂的各类电路都遵循着相同的规律。电路理论就是研究各种电路所共有的基本规律和基本分析方法的工程学科,包括电路分析和电路综合与设计两个分支。电路分析是根据已知的电路结构和元件参数,在电源或信号源(可统称为激励)作用下,分析计算电路的响应(即计算电压、电流和功率等),以讨论给定输入下电路的特性。电路综合与设计是电路分析的逆命题,即根据所提出的对电路性能的要求,确定给定输入和输出在满足电路技术指标的情况下,合适的电路结构和元件参数,使电路的性能符合设计要求。近年来,由于电子元件与设备的规模扩大,促进了电路的故障诊断理论的发展,因而故障诊断理论被人们视为继电路分析和电路综合与设计之后电路理论的一个新的分支。电路的故障诊断是指预报故障的发生及确定故障的位置、识别故障元件的参数等技术。电路综合与设计、电路的故障诊断都是以电路分析为基础的。

电路理论是电气工程和电子信息工程,其中包括电力、测量、通信、电信、自动化、生物医学等应用技术领域的主要理论基础,它的研究和发展直接影响着正在飞速发展着的以计算机技术、微电子技术和通信技术为特征的信息技术革命,关系到整个社会电气化、自动化、信息化程度,蕴藏着巨大的应用潜力和经济创造力。与世界上其他信息产业发达的国家相比,我国在技术开发、教育培训等方面都还存在着较大的差距。学习电路理论的最终目的是要具备设计、开发、研究各类电气工程系统的能力。在过去的一个半世纪,电气和电子工程师已经在开发系统、改变人们的生活方式和工作方式方面扮演了重要的角色。卫星通信、电话、计算机、电视、用于诊断的医学设备、流水作业的机器人及电力工具,已成为现代技术社会具有代表性的组成部分。对于有追求科学、有立志创新的理想和激情、热衷于应用科学和技术并有这方面才能的人来讲,这是一个令人兴奋且具有挑战性的领域。有志之士可投入到这场正在进行的技术革命中去,不断制造和精炼目前的系统,为满足不断变化的社会需求去开发新系统。目前电路理论与应用科学和技术的研究热点与前沿课题有:电路的故障诊断与自动检测、有源与开关电容电路、微电子电路设计与应用、非线性电路的分析综合、器件建模和新器件的创制、电路的数学综合、人工神经网络等。今后,电路理论将紧密地与系统理论相结合,并随着计算机技术发展而发展,成为现代科学技术基础理论中一门十分活跃、举足轻重而又有广阔前景的学科。

## 电路分析基础课程和学习方法

### 一、课程定位

电路分析基础课程是高等学校工科电类各专业的第一门专业基础课程,是所有强电专业和弱电专业的必修课,也是很多电专业研究生的入学考试科目之一。正如人们利用砖瓦建成高楼大厦一样,电路是构成各种电气系统的基础,具有其他任何电类课程不能替代的重要作

用。它是由逻辑思维过渡到工程思维的桥梁课,对实现专业人才培养目标具有承上启下的关键作用。作为电路理论的基础和入门,课程的主要任务是电路分析,而且着重于经典方法。要注意与“高等数学”“大学物理”“线性代数”和“积分变换”等先修课程的衔接和配合,通过本课程的学习可以掌握电路的基本理论、基本分析方法和进行电路实验的基本技能,从而分析并了解典型电路的特性,为学习后续课程及今后从事工程技术工作奠定良好的基础。这门课程学习的好坏,对学生的业务素质起着决定性的作用。本课程对培养学生严肃认真的科学作风和理论联系实际的工程观点,以及科学的思维能力、归纳能力、分析计算能力、实验研究能力都有重要的作用。

## 二、学习方法

课堂教学是当前主要的教学方式,也是获得知识的最快和最有效的学习途径。因此,务必认真听课,积极思考,紧跟老师讲课思路,搞清基本概念,注意解题方法和技巧。电路“入门”难是学生普遍存在的问题,难就难在对基本概念似是而非、基本原理理解不透、基本分析计算方法掌握不牢、应用不足。抓住规律,牢固掌握基本概念、基本电路和基本分析方法是最重要的。概念是不变的,基本电路构成的原则是不变的,具体电路是多种多样的,是灵活的,但“万变不离其宗”。

要善于自主学习、善于思考问题,要能提出问题并积极思考,重在理解并持之以恒,培养逻辑思维能力。上大学,很重要的就是要学会“学习”,能学到的最长久最有用的东西是一门学科的思维。学会系统的思维方法,养成良好的科学作风,将会影响今后毕生的科技生涯。

要善于总结,掌握重点。对每章节的重点和难点要系统地梳理,运用所学的知识去理解各章节的内在联系,消除认识的矛盾,抓住重点、突破难点,认真总结与归纳所学过的知识。要理解问题是如何提出和引申的,又是怎样解决和应用的。这样才能深刻理解和熟练掌握电路理论知识,开拓思路,培养能力。

通过练习可以巩固和加深对所学理论的理解,并培养分析能力和运算能力。因此每节都有思考与练习,每章都布置适当数量的自测题和习题,必须做好规定的练习。解题前,要对所学内容基本掌握;解题时,要看懂题意,注意分析,用哪个理论和公式,以及解题步骤也都要搞清楚。习题做在本子上,要书写整洁,图要标绘清楚,答数要注明单位。解题时尽量一题多解,考虑几个解决方案并从中挑选一个方案。有的方法在解题时可能比其他方法少用方程式,有的方法在解题时只用代数方法而不需要微积分。如果能采用这些方法,就会提高效率并能够有效地减少计算量。当用某种解决方法陷入困难时,就要想换一种方法,这时可能会找出一条继续前进的道路。检验解答,问自己得到的解答是否有实际意义?答案的数量级合理吗?解答能否在物理上实现?还可以进一步用其他方法重新解答问题。这样做不仅检验了最初答案的正确性,而且还帮助开发直觉。在现实世界中,安全的临界设计总是要用几种独立的方法进行检验。养成检验答案的习惯,不论是学生还是工程师,都会获益匪浅。总之要根据不同种类的问题找到最有效的解决方法。解决一个难题最重要的不仅仅是它的解决方法,而是在寻求解决方法的过程中获得的力量。科学研究就是要观察其他人已经看到的现象,思考还无人思索的问题。

珍惜实验课的基本训练,通过实验验证和巩固所学理论,强化实验技能的训练,并培养良好的实验素质和严谨的科学作风。掌握常用实验仪器的功能及使用方法。通过实验,使学生学会常用仪器仪表,如电压表、电流表、万用表、功率表、直流稳压电源、电子毫伏表、

通用示波器等的使用方法；能合理设计实验线路，正确操作和读取实验数据，初步分析判断并能排除一些简单的故障；会自拟记录表格，整理实验数据，绘制曲线和图表，对实验结果进行分析处理，写出合乎要求的实验报告。注意理论联系实际，理论与实践、验证与探索相结合，互相促进，全面提高。

通过各个学习环节，培养分析和解决问题的能力 and 创新精神。解决问题不是仅仅照着书本上的例题做练习题，而是要求使用已有的知识对提出的要求和论据能理解和领悟，并能提出自己的思路和解决问题的方案，这是一个创新过程。要注意对学习方法、抽象思维能力、分析计算能力、实验研究能力、归纳总结能力的培养和训练。

本课程的学习方法总结如下。

课前预习，课堂理解，课后练习，温故知新；

把握重点，突破难点，注重特点，融会贯通；

重视实践，勤思多练，善于归纳，勇于创新。

# 第 1 章 电路模型和电路定律

**内容提要：**本章介绍电路模型、电路的基本物理量、电路元件和电路定律，以及电路模型的应用实例。电路元件的电压、电流关系（元件约束）及基尔霍夫定律（结构约束）是电路分析的两个重要依据。本章内容是全书的基础，学习时要深刻理解，熟练掌握。

**本章目标：**熟练掌握电功率的计算；会应用基尔霍夫定律分析电路。

## 1.1 实际电路和电路模型

通过模型化的方法研究客观世界是人类认识自然的一个基本方法。为了能对模型进行定量分析和研究，通常是将实际条件理想化、具体事物抽象化、复杂系统简单化。建立起来的模型应能反映事物的基本特征，以便对实际事物本质的了解。研究电路问题也不例外地采用模型化的方法。

### 一、实际电路

实际电路是为完成某种应用目的，由若干电气器件和设备按一定方式连接而成的电流通路。在通常情况下，把电力、照明用的电能称为强电；与电力、照明相对而言，把传播信号，进行信息交换的电能称为弱电。电路的种类繁多，就电路的功能而言可概括分为以能量的传输、分配及转换为目的的电力系统和以信息的传递、处理和运算为目的的信号系统两大类。在技术上，电力系统侧重于讨论能量传送和转换的效率，信号系统更关注传递过程中的保真。分别各举一个实际电路如下。

手电筒实际电路是一种最简单的电力系统（强电电路），由电源（或信号源）、负载和中间环节三个基本部分组成，如图 1-1 所示，手电筒电路模型如图 1-2 所示。电池把化学能转换成电能供给灯泡，灯泡却把电能转换成光能作照明之用。

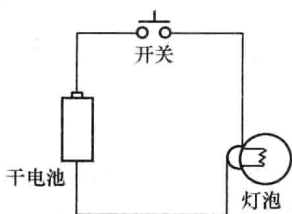


图 1-1 手电筒实际电路

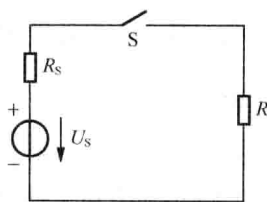


图 1-2 手电筒电路模型

电源（或信号源）：为电路提供能量或信号的设备，称为电源，能将化学能、机械能等非电能转换成电能或信号，如干电池、蓄电池、发电机、传声器等。

负载：凡是电能转换成热能、光能、机械能等其他形式的能量的用电设备，称为负载，如灯泡、电热炉、扬声器和电动机等。

中间环节：是连接电源和负载的部分，起传输、变换、控制和量测电能或信号的作用，如导线（电缆）、变压器、开关、晶体管放大器和电表等。

在电路分析中，人们把推动电路工作的电源或信号源的电压或电流统称为激励，激励有时又称输入。把由外部激励或由内部储能在电路中产生的电压或电流统称为响应，响应有时又称输出。所谓电路分析，就是在已知电路的结构和元件的参数下，研究电路的激励和响应之间的关系。

晶体管放大电路是一种最简单的信号系统（弱电电路），如图 1-3（a）所示。晶体管放大器在直流电源（电池）的作用下，先由传声器（话筒）把语言或音乐（通常称为信息）转换为相应的电压和电流，这就是电信号，而后通过放大电路传递到扬声器，把电信号还原成语言或音乐。由于由话筒输出的电信号比较微弱，不足以推动扬声器发音，因此中间还要有控制、变换作用的中间环节，如晶体管、变压器等。信号的这种传递和放大，称为信号的传递与处理。图 1-3（b）、（c）、（d）分别是图 1-3（a）的电原理图、电路模型、拓扑结构图。

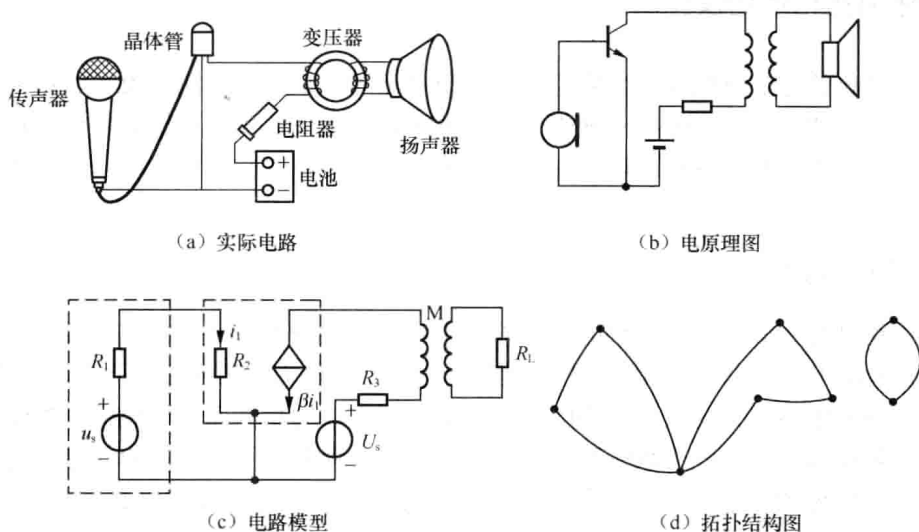


图 1-3 晶体管放大电路

复杂的电路又常称为网络，确切地说是电网络，因为还有交通网络、供水网络、供热网络等。现在又广泛使用系统这一概念。系统是由相互联系、相互制约、相互作用的各个部分组成的具有一定整体功能和综合行为的统一体，可见电路也是一个系统。电力网又称为电力系统。不过系统的概念比电路要更加广泛，常须涉及更多方面的物理过程，甚至社会现象。

## 二、电路模型

为了便于对实际电路进行分析和描述，揭示电路的内在规律，需要对电路的电磁特性科学概括，一般要将实际电路元件用一些理想电路元件来替代。所谓理想电路元件是具有确定电磁性质的假想元件，是组成电路模型的最小单元，具有某种确定电磁性质并有精确的数学



定义。从能量转换角度看，有电能的产生，电能的消耗，以及电场能量和磁场能量的储存。用来表征上述物理性质的理想电路元件（今后理想两字常略去）分别称为电压源  $U_S$ 、电流源  $I_S$ 、电阻元件  $R$ 、电容元件  $C$ 、电感元件  $L$ 。所谓电路模型，即在一定条件下考虑实际电路的主要电磁因素，忽略次要因素，转化为由理想电路元件构成的电路，并由符号连成的电路图。例如，在图 1-1 所示的手电筒实际电路中，由于干电池对外提供电能的同时，内部也有电能的消耗，所以用理想电压源  $U_S$  和理想电阻元件  $R_S$  的串联组合表示干电池；灯泡除了具有消耗电能的性质（电阻性）外，通电时还会产生磁场，具有电感性。但电感微弱，可忽略不计，灯泡用理想电阻元件  $R$  表示；连接干电池与灯泡的开关  $S$  和金属导线看成没有电阻的理想开关和导线，则可获得与之对应的电路模型如图 1-2 所示。电路模型只反映实际电路的作用及其相互连接方式，不反映实际电路的内部结构、几何形状及相互位置。可见电路模型就是实际电路的科学抽象。采用电路模型来分析电路，不仅计算过程大为简化，而且能更清晰地反映电路的物理实质。

为精确分析和设计电路，电路理论对实际电路进行了如下理想化处理。

(1) 集总化的假设：如果实际电路的空间尺寸  $d$  远小于该电路电磁波信号的波长  $\lambda$ ，这种电路称为集总参数电路。音频放大电路和一般的电路器件均应视为集总参数电路，其特点是电路中任意两个端点间的电压和流入任一器件端钮的电流是完全确定的，与器件的几何尺寸和空间位置无关。用来模拟这种器件的理想元件，称为集总元件。本书只讨论集总参数电路，今后简称为电路。对于电压为 220kV 的高压输电线而言，线路的长度与交流电的波长相比，不能采用集总参数，而要采用分布参数来表征了。

(2) 集总（理想）电路元件：电路元件的特性单一、工作参数“线性非时变”。本书主要分析线性、非时变的集总电路。电路的参数与电压、电流无关，不随时间变化，每个电路元件只存在一种特性。

(3) 实际开关和连接导线是理想的： $S$  为理想开关，表示实际开关；连接导线为理想导线（无阻导体）。

(4) 电流不存在“泄漏”或“存留”现象：相似于日常生活中的自来水管系统，电路是严格地“封闭”的，其中电流按照设计的线路流动，不存在任何“泄漏”或“存留”。

(5) 建模处理方法。具有相同的主要电磁性能的实际电路器件，在一定条件下可用同一模型表示。如电灯、电扇、电炉、电阻器等都是以消耗电能为主的设备，都用电阻  $R$  表示。同一个实际器件在不同的应用条件下及对模型精确度有不同要求时，它的模型可以有不同的形式。例如，一个实际线圈在直流稳定状态下，可抽象成为一个电阻；在低频交流不计损耗时，等效成一个电感；低频交流考虑损耗，就要用电阻和电感的串联组合模拟；高频时，线圈绕线间的电容效应就不容忽视，还需考虑匝间和层间的分布电容，此时表征这个线圈的较精确的模型是电阻和电感串联后再与电容并联。

总之在一定的工作条件下，根据实际电路器件的主要物理功能，可按不同的精确度用电路元件及其组合来模拟。至于如何构成实际电路模型，即如何建模，不是本课程的主要内容。

## 思考与练习

1-1-1 实际电路由哪几部分组成？试述电路的功能。

1-1-2 理想电路元件与实际电路器件有何不同？常用的理想电路元件有哪些？