

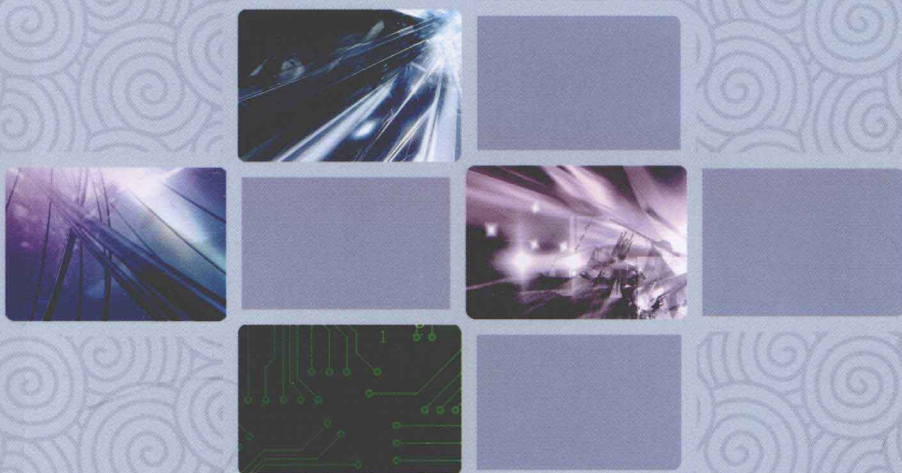


普通高等教育“十二五”创新型规划教材
高等教育课程改革项目研究成果

Electric Circuit Foundation

电路基础

◆ 主编 赵守忠 薛 峰



 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

普通高等教育“十二五”创新型规划教材
高等教育课程改革项目研究成果

电 路 基 础

DIAN LU JI CHU

主 编	赵守忠	薛 峰	
副主编	李美莲	王洪海	李皓瑜
	周 全	李 伟	
参 编	杜晓婷	方 飞	

 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

图书在版编目(CIP)数据

电路基础/赵守忠,薛峰主编. —北京:北京理工大学出版社,2011.7
ISBN 978-7-5640-4971-3

I. ①电… II. ①赵… ②薛… III. ①电路理论-高等学校-教材
IV. ①TM13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 162911 号

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010)68914775 (办公室) 68944990 (批销中心) 68911084 (读者服务部)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京正合鼎业印刷技术有限公司

开 本 / 710 毫米×1000 毫米 1/16

印 张 / 15.5

字 数 / 287 千字

版 次 / 2011 年 7 月第 1 版 2011 年 7 月第 1 次印刷 责任编辑 / 陈莉华

印 数 / 1~1500 册 责任校对 / 周瑞红

定 价 / 39.00 元 责任印制 / 王美丽

前言

Preface

随着教育观念的不断更新和电子科技日新月异的发展,现代教育手段已渗透到各项教学工作之中,电工电子系列课程的教学改革已取得了不少成果。同时,也对我们提出了新的更高的要求。目前,电子类专业基础课程已面临“课时压缩、内容要求基本不变”的新情况,其中“电路基础”课程课时大多压缩在60学时左右。这种改革的本意是给予学生更多的思考空间,而不是简单地减少内容、简化叙述。课堂教学仍然是教学工作的主要环节,针对这一新情况,十分有必要设计好课堂教学内容,提高课堂教学质量及教学效率。因此,要求教师贯彻精讲原则,精心组织讲课内容,突出知识点间的联系,体现知识点的前后呼应和举一反三,并结合自己的心得和体会,以激发学生的学习兴趣,引导学生学会思考,学会学习。

根据美国教育心理学家布鲁纳(Jerome Seymour Bruner)“学科结构论”的观点,学习任何课程,主要是要使学生掌握该课程的基本结构。所谓基本结构是指各种概念、定义、定理、方法之间相互关系的理论框架。学生一旦掌握了课程的基本结构,也就掌握了该课程的基本原理和基本概念,就能处理许多看来似乎生疏但密切关联的知识,也就是说,在学习过程中可以把基本原理作为“学习迁移”的基础,不断扩大和加深对知识的理解和运用。

本教材是作者根据多年来“电路基础”课程教学的实践心得编写而成的,是按照教育部高等学校电子、计算机类专业的“电路基础”教学大纲编写的。可作为高等院校电类相关专业电工、电路分析课程理论与实践教学教材。讲完全书一般需要50个理论学时。

本书的主要特色有以下几点:

(1) 基础理论“四弱化四加强”。电路有关定理的证明弱化甚至不证明,加强定理的应用;数学推导弱化,加强基本原理和概念的讲解;每章的例题、习题的难度弱化,加强与基本概念和原理相关的例题和习题;动态电路分析弱化,加强 RC 及 RL 电路充放电、微分电路和积分电路的概念和应用。

(2) 加强应用和实践内容。每章从基本内容到例题、习题均注重理论结合实

际,加强学生的基本技能训练,强化学生的创新意识,可以提高其综合应用能力,积累工程经验,加强学生的实际应用能力和动手能力,缩短从学校到工作岗位的适应距离。

(3) 本书突出基本内容和概念,全书通俗易懂,突出工程应用,较好地处理了教学内容的继承与更新及先进性与实用性的关系,较好地体现了高等教育的“基础理论以必需、够用为度,突出应用性”的基本指导思想。

(4) 本书每章后面有小结和习题,书末提供了部分习题答案,便于教学与自学。

(5) 注意理论上的“度”。电路分析是理论体系非常强的一门课程,其理论基础对学习后续课程起着十分重要的作用。书中对电路分析的基本概念、基本理论、基本工作原理和基本分析方法都作了必要和适当的阐述。在体现高等教材特色方面,本书在内容上以满足后续课程学习的需要为“度”。

本书由原中国科学技术大学副教授、现安徽三联学院信息与通信技术系主任赵守忠同志担任主编,薛峰同志负责全书统筹工作。各章节负责编写工作如下:方飞负责编写第1、第2、第9章,李伟负责编写第3、第4章,杜晓婷负责编写第5、第6、第7章,李美莲负责编写第8、第10、第11、第12章。

由于时间紧迫和编者水平有限,书中的错误和缺点在所难免,热忱欢迎使用者对本书提出批评与建议。

编 者

目录

Contents

第1章 绪论	(1)
1.1 引言	(1)
1.2 知识结构和教学要求	(1)
1.3 教学内容	(2)
1.3.1 实际电路和电路模型	(2)
1.3.2 电路分析方法	(4)
思考与讨论	(5)
本章小结	(5)
习题	(5)
第2章 电路变量、电路元件和电路定律	(6)
2.1 引言	(6)
2.2 知识结构和教学要求	(6)
2.3 教学内容	(7)
2.3.1 电路分析中的基本变量	(7)
2.3.2 电阻元件	(13)
2.3.3 独立电源	(17)
2.3.4 受控电源	(22)
2.3.5 基尔霍夫定律	(24)
思考与讨论	(27)
本章小结	(28)
习题	(29)



第3章 电路的等效变换	(33)
3.1 引言	(33)
3.2 知识结构和教学要求	(33)
3.3 教学内容	(34)
3.3.1 电阻的串联、并联及其等效变换	(34)
3.3.2 电阻的Y形连接和 Δ 形连接的等效变换	(37)
3.3.3 电压源、电流源的串联、并联及其等效变换	(40)
3.3.4 输入电阻	(43)
思考与讨论	(45)
本章小结	(45)
习题	(45)
 第4章 线性电路的基本分析方法	(48)
4.1 引言	(48)
4.2 知识结构和教学要求	(48)
4.3 教学内容	(49)
4.3.1 支路分析法	(54)
4.3.2 网孔分析法	(57)
4.3.3 节点分析法	(60)
4.3.4 回路分析法	(65)
思考与讨论	(70)
本章小结	(70)
习题	(70)
 第5章 电路定理	(74)
5.1 引言	(74)
5.2 知识结构和教学要求	(75)
5.3 教学内容	(75)
5.3.1 叠加定理	(75)
5.3.2 置换定理	(78)
5.3.3 戴维南定理	(79)
5.3.4 诺顿定理	(83)

5.3.5 最大功率传输定理	(84)
5.3.6 互易定理	(85)
思考与讨论	(87)
本章小结	(88)
习题	(89)

第6章 电容元件与电感元件 (93)

6.1 引言	(93)
6.2 知识结构和教学要求	(94)
6.3 教学内容	(94)
6.3.1 电容元件	(94)
6.3.2 电感元件	(97)
6.3.3 电容元件和电感元件的串、并联	(99)
小结	(100)
习题	(102)

第7章 单相正弦交流电路的基本知识 (103)

7.1 引言	(103)
7.2 知识结构和教学要求	(104)
7.3 教学内容	(104)
7.3.1 正弦交流电路的基本概念	(104)
7.3.2 正弦量的有效值	(107)
7.3.3 交流电路中的常用元件	(109)
思考与讨论	(113)
本章小结	(113)
习题	(117)

第8章 谐振电路 (119)

8.1 引言	(119)
8.2 知识结构和教学要求	(119)
8.3 教学内容	(120)
8.3.1 串联谐振电路	(120)



8.3.2 并联谐振电路	(126)
8.3.3 正弦交流电路的最大功率传输	(131)
8.3.4 谐振电路的应用	(132)
本章小结	(133)
习题	(134)
第9章 三相电路	(138)
9.1 引言	(138)
9.2 知识结构和教学要求	(138)
9.3 教学内容	(139)
9.3.1 对称的三相电源概述	(139)
9.3.2 三相电源和三相负载的连接	(141)
9.3.3 对称三相电路的分析	(146)
9.3.4 不对称三相电路的概念	(149)
9.3.5 三相电路的功率	(151)
思考与讨论	(155)
本章小结	(156)
习题	(157)
第10章 动态电路的时域分析	(161)
10.1 引言	(161)
10.2 知识结构和教学要求	(162)
10.3 教学内容	(162)
10.3.1 电路的动态过程	(162)
10.3.2 动态电路初始条件	(164)
10.3.3 求解一阶动态电路的方法	(168)
10.3.4 一阶电路响应的分类	(171)
10.3.5 一阶电路的阶跃响应	(176)
10.3.6 一阶电路的冲激响应	(179)
10.3.7 一般的二阶 RLC 电路的分析	(181)
思考与讨论	(184)
本章小结	(184)

习题	(184)
第 11 章 二端口网络	(189)
11.1 引言	(189)
11.2 知识结构和教学要求	(189)
11.3 教学内容	(190)
11.3.1 二端口网络的基本概念	(190)
11.3.2 二端口网络的方程和参数	(191)
11.3.3 二端口网络的等效变换	(197)
思考与讨论	(201)
本章小结	(201)
习题	(201)
第 12 章 Multisim 介绍	(205)
12.1 引言	(205)
12.2 知识结构和教学要求	(205)
12.3 教学内容	(206)
12.3.1 概述	(206)
12.3.2 绘制电路原理图和仿真	(222)
本章小结	(235)
习题	(235)
参考文献	(236)

第 1 章 绪 论

1.1 引 言

电路理论是电气工程、电子信息工程、自动化及通信工程等各专业入门的专业基础课程，在开设这门课程之前，与我们先修的课程如高等数学、大学物理、工程数学等几门课程有密切的关系，电路理论是后面专业课程的基础课，如电力电子、电机拖动、自动控制原理等专业课程。它在今后的学习过程中将起着至关重要的作用。

本书主要讨论电路分析的基本规律和基本分析方法。通过本课程的学习，使学生掌握电路的基本知识和基本的实验技能，为学习后续课程打好理论基础，同时培养学生实验和工程实践的能力。

电路理论研究的对象是电路模型，主要计算电路模型中各器件的端子电流和端子间的电压，一般不涉及内部发生的物理过程。

本章首先讨论实际电路及其电路模型的构成。

1.2 知识结构和教学要求

1. 知识结构

电路的基本概念。

- (1) 实际电路；
- (2) 理想电路元件；
- (3) 电路模型。

2. 教学要求

- (1) 理解理想电路元件的概念；



- (2) 理解电路模型的概念;
- (3) 理解电路模型的分析方法。

1.3 教学内容

1.3.1 实际电路和电路模型

学习目标:

理解电路元件的概念、了解电路模型组成及电路模型分析法

1. 实际电路

人们在工作 and 生活中时都会接触到实际电路,它是为了完成某种需要,由电路器件(例如晶体管和二极管)和电路元件(例如电容器、电阻器等)相互连接而成。比较复杂的电路呈网状,常称为网络。实际上,电路与网络这两个名词一般可以通用的。

实际电路的组成方式很多,功能也各有不同。其主要功能可分为两种:一种作用是实现电能的产生、传输、分配,是通过发电机、变压器、输电线等完成的,形成了一个庞大复杂的电路或系统,例如各种电力系统就是这样的;另一种作用是实现信号的产生、转换输入、传递、处理和控制、转换输出,比如电话机,收音机、扩音机等。

如图 1-1 (a) 所示是一个简单的实际电路,它由电池、小灯泡和连接导线组成。在闭合的回路中有电流流过,于是小灯泡发光,可以起到照明的作用。在实际的电路中,有电源、负载、激励源、响应等几个名词要弄清楚。电能或电信号的发生器称为电源,用电设备称为负载。电压和电流是在电源的激励作用下产生的,因此,电源又称为激励(源)。激励源在电路中产生的电压和电流可以称为响应。有时,根据激励和响应之间的因果关系,把激励称为输入,响应称为输出。在图 1-1 (a) 中,干电池就是一种电源(或激励源),其正负极之间有一定的电压,向电路提供电能,小灯泡是一用电设备就是负载,实际上它的主要部件是电阻丝,当电流流过时能发热到白炽状态而发光,导线连接回路为传输环节。

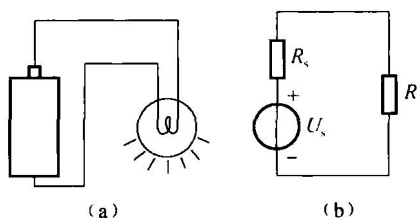


图 1-1 实际电路与电路模型

综上,电路主要是由电源、负载和传输环节组成的,电源是提供电能的或电信号的设备,负载是用电设备或输出信号的设备,传输环节是传输信号或电能。

2. 电路元件和电路模型

本书讨论的电路不是实际电路而是它们的电路模型, 电路模型是由理想的电路元件构成, 然后利用电路理论对它进行分析和研究, 下面我们来介绍理想电路元件和电路模型。

实际电路中的实际的元器件所表现出来的电磁性能往往是多方面交织在一起, 不便于我们做电路研究。因而为了便于电路研究, 常常在一定的条件下将对实际器件加以理想化, 即只考虑实际元器件的主要的电磁特性, 其他次要特性则将其忽略, 或者将一些交织的电磁现象分别表示出来。例如在图 1-1 (a) 中, 小灯泡 (电阻器) 不但发热消耗电能, 而且在其周围还会产生一定的磁场, 但是可以只考虑其消耗电能的主要特性而忽略其磁场; 干电池不仅在其正负极间保持一定的电压对外部电路提供电能, 且内部也是有一小部分电能的损耗, 在这里可以将提供电能的特性和内部损耗电能的特性分别表示出来; 对短传输导线可以只考虑其导电性能忽略其本身的电能损耗。

这样可以定义一些理想化的电路元件, 用这些理想化的电路元件来体现某种确定的电磁性能并具有精确的数学定义, 用这些理想化元件组合起来模拟实际电路。比如电阻元件是反映一种消耗电能的元件, 用符号 R 表示; 电感元件是反映电路周围存在磁场并可以储存磁场能的元件, 用符号 L 表示; 电容元件是反映电路及其附近存在着电场并可以储存电场能量的元件, 用符号 C 表示。注意, 电阻是消耗能量的元件, 电感元件或电容元件不会释放出多于它储存的能量, 这些元件都不能自己提供能量, 统称为无源元件。在忽略电能损耗的情况下, 闭合的开关和较短的导线可视为理想的导体。

电路模型是由这些理想电路元件经导线连接而成, 理想电路元件是组成电路模型的最小单元, 各理想元件的端子是用“理想导线”连接起来的。根据理想元件端子的数目, 可分为二端、三端、四端元件等。

图 1-1 (a) 的电路模型如图 1-1 (b) 所示。该图中的电阻元件 R 作为小灯泡的电路模型, 干电池是用理想直流电压源 U_s 和电阻元件 R_s 的串联组合作为模型, 连接导线用理想导线 (其电阻设为零) 表示。

用理想电路元件或它们的组合模拟实际器件和实际电路就是建立其模型 (简称建模)。建模时必须考虑工作条件, 并按不同精确度的要求把给定工作情况下的主要物理现象及功能反映出来。例如, 在直流情况下, 一个线圈的模型可以是一个电阻元件; 在较低频率下, 就要用电阻元件和电感元件的串联组合模拟, 在较高频率下, 还应考虑导体表面的电荷作用, 即电容效应, 所以其模型还需要包含电容元件。可见在不同的条件下, 同一实际器件可能采用不同的模型。模型取得恰当, 对电路的分析和计算结果就与实际情况接近; 模型取得不恰当, 则会造成很大误差, 有时甚至导致自相矛盾的结果。如果模型取得太复杂就会造成分析的困难; 反之, 如果取得太简单, 就不足以反映所求解量的真实情况。所以建模



问题是需要专门研究的。

上述的电路模型是由集总参数元件构成的，故称为集总参数电路。本书研究的电路都是集总参数电路。

今后本书所说的电路一般均指由理想电路元件构成的电路模型，而非实际电路。同时将把理想电路元件简称为电路元件，电路模型简称为电路。

1.3.2 电路分析方法

学习目标：

理解电路中电阻的串联、并联以及混联并能熟练运用。

1. 串联电路

像图 1-2 这样把元件逐个顺次连接起来的电路称串联电路。

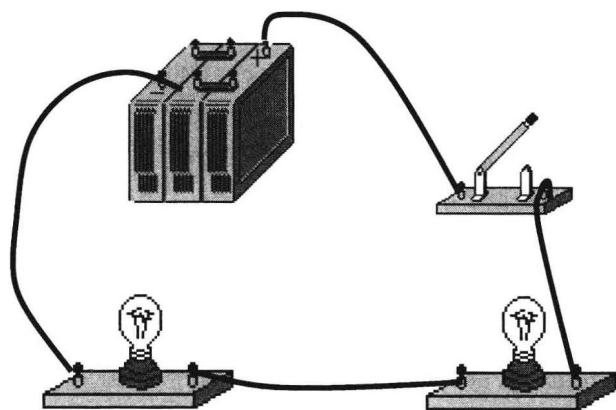


图 1-2 串联电路

串联电路的特点：

- (1) 电流只有一条路径，通过一个元件的电流同时也通过另一个元件。
- (2) 电路中只需要一个开关，且开关的位置对电路没有影响。

串联电路中的电流处处相等，或者说元件串联时，同一个电流流过每个串联的元件。

串联电路中的每个电阻两端的电压与电阻的大小成正比。

串联电路中的等效电阻等于各个电阻之和。

2. 并联电路

把元件并列地连接起来的电路，称并联电路。

并联电路的特点：

- (1) 电流有两条（或多条）路径。

(2) 各元件可以独立工作。

(3) 干路的开关控制整个干路，支路的开关只控制本支路。

并联电阻或元件两端的电压都相同，与电阻的大小无关。

并联电路中的支路电流与支路的电阻成反比。

并联电路中等效电阻的倒数等于各支路电阻的倒数之和。



思考与讨论 <<<



1. 什么是电路？电路的作用有哪些？
2. 列举你所知道理想电路元件？它们各代表什么样的电磁特性？

本章小结

1. 实际电路是为了完成某种需要将一些电气器件按一定方式连接起来的电流通路。
2. 理想的电路元件是体现某种主要的基本物理现象，具有某种确定的电磁性能和精确的数学定义。
3. 实际电路可以用一个或多个理想电路元件经理想导线连接起来模拟，从而构成电路模型。
4. 建立电路模型时要考虑同样器件在不同的条件和环境下的电磁特性，由集总参数元件构成电路模型称为集总参数电路。

习 题

1-1 简答题

1. 列举你所知道的一些日常生活中的实际电路，大致说明其作用。
2. 谈谈你对电路模型的理解，在建立电路模型中要注意些什么？
3. 电路理论研究的对象是什么？
4. 说明下列名词的含义：网络、激励、响应、无源元件。
5. 二端元件、三端元件等是按什么划分的？

第2章 电路变量、电路元件和电路定律

2.1 引言

本章介绍电路模型中的基本物理量，如电压、电流及其参考方向的概念，吸收、发出功率的表达式和计算方法，还将介绍电阻元件、独立电源和受控电源等理想的电路元件并讨论他们的属性。研究与电路连接方式有关的基本规律——基尔霍夫定律。基尔霍夫定律是集总参数电路的基本定律，包括电流定律（KCL）和电压定律（KVL），分别使相互连接的支路电流之间和相互连接的支路电压之间予以线性约束，这种约束与构成电路的元件性质无关。这些都是电路理论里的基础知识，贯串全书。

2.2 知识结构和教学要求

1. 知识结构

(1) 电路的基本变量。

① 电流；② 电压；③ 功率；④ 电能。

(2) 理想的电路元件。

① 电阻元件；② 独立电流源；③ 独立电压源。

(3) 受控源。

① 受控电压源；② 受控电流源。

(4) 电路的基本定律。

① 欧姆定理（VCR）；

② 基尔霍夫电压定律 (KVL) 和基尔霍夫电流定律 (KCL)。

2. 教学要求

(1) 理解电流、电压、功率的定义。

(2) 理解电流、电压的实际方向和参考方向的意义, 掌握功率的计算方法及吸收功率和发出功率的不同意义。

(3) 理解电阻元件、独立电流源、独立电压源的属性和端口对外的特性。

(4) 理解基尔霍夫电流定律 (KCL) 和基尔霍夫电压定律 (KVL) 的实质, 会根据 KCL 和 KVL 列方程, 求解出相关的电路变量。

2.3 教学内容

2.3.1 电路分析中的基本变量

学习目标:

掌握电流及电流的参考方向掌握电压以及电位、电动势及其参考方向和电能、电功率及额定电功率。

电路理论中涉及的物理量主要有电流、电压、电荷和磁通及磁通链, 通常用 I 、 U 、 Q 和 ϕ 分别表示。另外电功率和电能也是重要的物理量, 它们的符号分别为 P 、 W , 在这里先从讨论电流开始。

一、电流和电流的参考方向

1. 电流

带电粒子 (电子、离子等) 的定向运动形成电流。因而, 实际上衡量电流的大小就是电流强度, 简称电流。电流在数值上等于单位时间内通过某一横截面积的电荷量, 用符号 i 表示, 即

$$i(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{dq}{dt} \quad (2-1)$$

一般我们将正电荷运动的方向规定为电流的实际方向, 负电荷运动的反方向为电流的实际方向。若电流的大小和方向不随时间变动, 也就是式中 $\frac{dq}{dt}$ 等于一个常数, 则称这种电流为直流电流, 简称为直流 (DC)。直流电流常用大写的字母 I 表示, 所以式 (2-1) 可改写为

$$I = \frac{q}{t} \quad (2-2)$$