

21世纪高等学校规划教材 | 电子信息



# 电路分析教程

张卫钢 编著

清华大学出版社

21世纪高等学校规划教材 | 电子类

---



# 电路分析教程

张卫钢 编著

清华大学出版社  
北 京

## 内 容 简 介

本教材全面介绍了电路分析的基础知识和基本技能,全书共分十章,内容包括电路的基本概念与理论、直流电路等效化简分析法、直流电路基本定律分析法、正弦稳态电路基本理论、正弦稳态电路分析法、三相交流电路分析法、动态电路分析法、电路方程的矩阵形式、双端口网络、电路及元器件的测量。同时,配有大量例题并附有大部分习题的参考答案。

本教材是专为普通高校“通信工程”、“电子信息工程”、“物联网工程”、“自动化控制”、“网络工程”、“机电一体化”等专业而编写的大学本科教材,参考学时为 50 左右。在编写方法上不但考虑到满足教学要求,而且也顾及到适合自学和实践应用,因此,本教材也可作为有志青年的自学教材和相关工程技术人员的参考书。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

### 图书在版编目(CIP)数据

电路分析教程/张卫钢编著.--北京:清华大学出版社,2015

21 世纪高等学校规划教材·电子信息

ISBN 978-7-302-37774-0

I. ①电… II. ①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 190231 号

责任编辑:郑寅堃 薛 阳

封面设计:傅瑞学

责任校对:焦丽丽

责任印制:何 芊

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社 总 机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, [c-service@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:c-service@tup.tsinghua.edu.cn)

质 量 反 馈:010-62772015, [zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn)

课 件 下 载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 装 者:北京密云胶印厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm

印 张:18.5

字 数:452 千字

版 次:2015 年 1 月第 1 版

印 次:2015 年 1 月第 1 次印刷

印 数:1~2000

定 价:35.00 元

---

产品编号:057298-01

# 出版说明

---

随着我国改革开放的进一步深化,高等教育也得到了快速发展,各地高校紧密结合地方经济建设发展需要,科学运用市场调节机制,加大了使用信息科学等现代科学技术提升、改造传统学科专业的投入力度,通过教育改革合理调整和配置了教育资源,优化了传统学科专业,积极为地方经济建设输送人才,为我国经济社会的快速、健康和可持续发展以及高等教育自身的改革发展做出了巨大贡献。但是,高等教育质量还需要进一步提高以适应经济社会发展的需要,不少高校的专业设置和结构不尽合理,教师队伍整体素质亟待提高,人才培养模式、教学内容和方法需要进一步转变,学生的实践能力和创新精神亟待加强。

教育部一直十分重视高等教育质量工作。2007年1月,教育部下发了《关于实施高等学校本科教学质量与教学改革工程的意见》,计划实施“高等学校本科教学质量与教学改革工程”(简称“质量工程”),通过专业结构调整、课程教材建设、实践教学改革、教学团队建设等多项内容,进一步深化高等学校教学改革,提高人才培养的能力和水平,更好地满足经济社会发展对高素质人才的需要。在贯彻和落实教育部“质量工程”的过程中,各地高校发挥师资力量强、办学经验丰富、教学资源充裕等优势,对其特色专业及特色课程(群)加以规划、整理和总结,更新教学内容、改革课程体系,建设了一大批内容新、体系新、方法新、手段新的特色课程。在此基础上,经教育部相关教学指导委员会专家的指导和建议,清华大学出版社在多个领域精选各高校的特色课程,分别规划出版系列教材,以配合“质量工程”的实施,满足各高校教学质量和教学改革的需要。

为了深入贯彻落实教育部《关于加强高等学校本科教学工作,提高教学质量的若干意见》精神,紧密配合教育部已经启动的“高等学校教学质量与教学改革工程精品课程建设工作”,在有关专家、教授的倡议和有关部门的大力支持下,我们组织并成立了“清华大学出版社教材编审委员会”(以下简称“编委会”),旨在配合教育部制定精品课程教材的出版规划,讨论并实施精品课程教材的编写与出版工作。“编委会”成员皆来自全国各类高等学校教学与科研第一线的骨干教师,其中许多教师为各校相关院、系主管教学的院长或系主任。

按照教育部的要求,“编委会”一致认为,精品课程的建设工作从开始就要坚持高标准、严要求,处于一个比较高的起点上。精品课程教材应该能够反映各高校教学改革与课程建设的需要,要有特色风格、有创新性(新体系、新内容、新手段、新思路,教材的内容体系有较高的科学创新、技术创新和理念创新的含量)、先进性(对原有的学科体系有实质性的改革和发展,顺应并符合21世纪教学发展的规律,代表并引领课程发展的趋势和方向)、示范性(教材所体现的课程体系具有较广泛的辐射性和示范性)和一定的前瞻性。教材由个人申报或各校推荐(通过所在高校的“编委会”成员推荐),经“编委会”认真评审,最后由清华大学出版

社审定出版。

目前,针对计算机类和电子信息类相关专业成立了两个“编委会”,即“清华大学出版社计算机教材编审委员会”和“清华大学出版社电子信息教材编审委员会”。推出的特色精品教材包括:

- (1) 21 世纪高等学校规划教材·计算机应用——高等学校各类专业,特别是非计算机专业的计算机应用类教材。
- (2) 21 世纪高等学校规划教材·计算机科学与技术——高等学校计算机相关专业的教材。
- (3) 21 世纪高等学校规划教材·电子信息——高等学校电子信息相关专业的教材。
- (4) 21 世纪高等学校规划教材·软件工程——高等学校软件工程相关专业的教材。
- (5) 21 世纪高等学校规划教材·信息管理与信息系统。
- (6) 21 世纪高等学校规划教材·财经管理与应用。
- (7) 21 世纪高等学校规划教材·电子商务。
- (8) 21 世纪高等学校规划教材·物联网。

清华大学出版社经过三十多年的努力,在教材尤其是计算机和电子信息类专业教材出版方面树立了权威品牌,为我国的高等教育事业做出了重要贡献。清华版教材形成了技术准确、内容严谨的独特风格,这种风格将延续并反映在特色精品教材的建设中。

清华大学出版社教材编审委员会

联系人:魏江江

E-mail: weijj@tup. tsinghua. edu. cn

在人类发展和社会演变的漫长历史进程中,伴随着许许多多灿若星辰的科学发现和技术发明,比如阿拉伯数字、杠杆原理、万有引力定律、能量转换与守恒定律、人工取火、指南针、造纸术、蒸汽机、晶体管、集成电路、计算机等。这些发现和发明不仅极大地推进了人类的进化和社会的发展,同时也对人类生活质量的提高起到了至关重要的作用。在这些林林总总的人类智慧结晶之中,与人类生活关系最密切的发现莫过于“电”。试想一下,如果没有了“电”,我们的生活将是怎样的情景?

“电”是当今科技腾飞的翅膀,是经济发展的动力,是人类生活的必需。作为一个现代人,如果不掌握一点电和电路的基本知识与用“电”的基本技能,那么在生活和工作中将会遇到很多不便。而对于一个当代的大学生,如果对电没有一个比常人更全面更深入的了解和把握,将很难适应激烈的职场竞争和很多技术含量较高的工作,甚至在日常生活中也会遭遇尴尬和困境。因此,在普通理工科高校相关专业开设“线性电路分析”、“电路”或“电路基础”等相关课程已成为众多高校的共识。

所谓“线性电路分析”(通常简称为“电路分析”)是指对主要由电阻、电感、电容构成的满足齐次性、叠加性及响应分解性的电网络进行电压、电流、功率和元件参数等变量求解的过程。而各种求解方法的研究和应用就构成了该课程的主要内容。图 0-1 给出了该课程的主要内容结构。

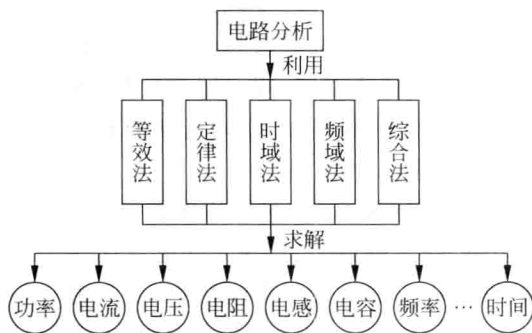


图 0-1 “电路分析”内容结构图

需要说明的是,从研究内容上看,该课程与后续的“信号与系统”课程很相似,见图 0-2。两门课程的核心内容都是“解方程”。“电路分析”主要是针对直流电(信号)的激励,利用代数方程(组)求解线性纯电阻电路的支路电流和电压响应,以及在交流电(信号)作用下,利用相量(代数)方程(组)求解线性 RLC 电路的支路电流和电压响应;而“信号与系统”则是针对任意信号(周期和非周期信号,连续和离散信号)的激励,主要利用微分方程(组)和差分方程(组)求解任意线性电路中支路的电流或电压响应。它们之间最大的差异就是激励信号的不同,从而导致求解方程(组)的方法也不尽相同。

“电路分析”可以认为是“信号与系统”课程的先导和基础,而“信号与系统”所讲的内容则是“电路分析”的深入和提高,是更高一级的分析技术。显然,两门课程有着密切的联系,了解它们的异同点对学习和掌握这两门课程大有裨益。

在“通信工程”、“电子信息工程”、“物联网工程”、“网络工程”、“机电一体化”和“自动化控制”等对电路知识要求较高的本科专业培养计划中,“电路分析”是非常重要的专业基础课,它不仅是“模拟电路”、“数字电路”、“高频电路”、“信号与系统”、“通信原理”和“自动控制原理”等课程的先导课程,更是一些相关专业的考研课程。另外,目前各高校的培养计划学时远远小于教学的实际需求,这就要求施教者动脑筋想办法,用尽量短的时间完成尽量多的知识传授,同时,还要加强对实践能力培养。再者,目前市场上相关教材虽然很多且各有千秋,但普遍存在篇幅过大、缺少与相关课程的联系以及与实践结合不够紧密等问题。因此,编写一本既适合当前教学又能满足市场需求的教材就显得尤为重要。

鉴于此,在总结多年教学、科研以及指导学生参加各种大赛经验的基础上,我们编写了这本适用于“通信工程”、“电子信息工程”、“物联网工程”、“网络工程”、“机电一体化”和“自动化控制”等本科专业的基础课教材《电路分析教程》。该教材对传统内容进行了重新梳理和编排,形成了“以等效分析法和定律分析法为主线的十章结构体系”,使得内容既全面又精炼,知识脉络更清晰,逻辑关系更合理。通过文字加黑、划线、图解概念以及形象比喻等手段,提高了对基础知识描述和诠释的细腻及易懂程度;通过精心挑选和编写,将不少国内外经典教材的例题、习题与名校的考研试题安排在教材中作为例题和习题,既加强了基本解题方法与技巧的训练,同时也拓展了解题思路 and 知识的应用面;另外,特别增加了一章“电路及元器件的测量”,既加强了理论与实践的联系,也将实践技能融入日常的教学之中,以期提高学生的实践动手能力。

本教材以“强调基础理论,注重基本方法,提高基本技能”为宗旨,以“应用为主,考研为辅”为指导思想,参考、融合了多本国内外知名教材的内容和写作风格以及国内多所高校的考研要求,具有内容全面精炼、概念清晰明了、观点鲜明独特、语言通俗易懂、理论联系实际、程度深浅得当、例题丰富实用、页面美观新颖、学习考研兼顾等特点,再辅以实用性极强的“小知识”,使得本教材更生动、更全面、更实用。

本教材可与《信号与系统教程》(张卫钢,张维峰编著,清华大学出版社 2012.9)、《通信原理与技术简明教程》(张卫钢,张维峰编著,清华大学出版社 2013.8)、《通信原理与通信技术(第三版)》(张卫钢主编,西安电子科技大学出版社 2012.4)和《通信原理大学教程》(曹丽娜,张卫钢编著,电子工业出版社 2012.5)以及其他作者的相关教材配套使用。

本教材的参考学时为 50,其中星号(\*)表示选学内容,不作要求,供有兴趣的同学参考。章后习题的简明答案用习题后括号括起的形式表示。具体安排见表 0-1。

表 0-1 学时安排表

| 章 节               | 学时 | 章 节              | 学时 |
|-------------------|----|------------------|----|
| 第 1 章 电路的基本概念与理论  | 6  | 第 6 章 三相交流电路分析法  | 2  |
| 第 2 章 直流电路等效化简分析法 | 6  | 第 7 章 动态电路分析法    | 6  |
| 第 3 章 直流电路基本定律分析法 | 6  | 第 8 章 电路方程的矩阵形式  | 4  |
| 第 4 章 正弦稳态电路基本理论  | 6  | 第 9 章 双端口网络      | 6  |
| 第 5 章 正弦交流电路分析法   | 6  | 第 10 章 电路及元器件的测量 | 2  |

本教材由长安大学张卫钢教授编著。邱瑞、任帅和张弢博士编写了例题、练习题和参考答案。侯俊博士、郑丹云、董成成、赵劼旭、席文强、潘玲也都为本教材的出版做出了贡献,在此,对他们表示衷心感谢。同时,对参考文献的编、著、译者致以崇高的敬意。

希望广大读者不吝赐教,批评指正。

作者信箱: wgzhang@chd.edu.cn。

张卫钢

2014年5月于西安

# 目 录

|                         |    |
|-------------------------|----|
| 第 1 章 电路的基本概念与理论 .....  | 1  |
| 1.1 电路 .....            | 1  |
| 1.1.1 电路的概念 .....       | 1  |
| 1.1.2 电路的分类 .....       | 2  |
| 1.1.3 线性电路 .....        | 3  |
| 1.2 电流、电位和电压 .....      | 4  |
| 1.2.1 电流 .....          | 4  |
| 1.2.2 电位与电压 .....       | 5  |
| 1.2.3 电压与电流的关系 .....    | 6  |
| 1.3 直流电和交流电 .....       | 7  |
| 1.3.1 直流电 .....         | 7  |
| 1.3.2 交流电 .....         | 7  |
| 1.3.3 直流电路和交流电路 .....   | 9  |
| 1.4 电阻、电感、电容及其模型 .....  | 9  |
| 1.4.1 电阻器及其模型 .....     | 9  |
| 1.4.2 电感器及其模型 .....     | 11 |
| 1.4.3 电容器及其模型 .....     | 13 |
| 1.5 电源及其模型 .....        | 16 |
| 1.5.1 电源的概念与分类 .....    | 16 |
| 1.5.2 直流电源与交流电源 .....   | 16 |
| 1.5.3 理想电压源与实际电压源 ..... | 18 |
| 1.5.4 理想电流源与实际电流源 ..... | 19 |
| 1.5.5 受控电源与独立电源 .....   | 20 |
| 1.6 电路模型 .....          | 22 |
| 1.7 电路的图 .....          | 22 |
| 1.8 电路基本定律 .....        | 25 |
| 1.8.1 基尔霍夫电流定律 .....    | 25 |
| 1.8.2 基尔霍夫电压定律 .....    | 25 |
| 1.9 电路分析的基本概念 .....     | 26 |
| 1.10 小知识——“接地” .....    | 27 |
| 1.11 习题 .....           | 28 |

|                          |    |
|--------------------------|----|
| <b>第 2 章 直流电路等效化简分析法</b> | 33 |
| 2.1 等效化简分析法              | 33 |
| 2.2 电阻网络的等效分析            | 34 |
| 2.2.1 电阻的串联分析            | 34 |
| 2.2.2 电阻的并联分析            | 36 |
| 2.2.3 电阻的混联分析            | 38 |
| 2.2.4 三角形与星形分析           | 40 |
| 2.3 电阻的功率分析              | 42 |
| 2.3.1 功率与能量              | 42 |
| 2.3.2 功率平衡               | 43 |
| 2.3.3 负载获得最大功率的条件        | 44 |
| 2.4 独立电源电路的等效分析          | 44 |
| 2.4.1 电源的串联与并联           | 44 |
| 2.4.2 有伴电源的相互等效          | 46 |
| 2.4.3 理想电源与任意元件连接的等效     | 47 |
| 2.5 受控电源电路的等效分析          | 47 |
| 2.6 线性定理                 | 50 |
| 2.7 替代定理                 | 53 |
| 2.8 等效电源定理               | 54 |
| 2.8.1 戴维南定理              | 54 |
| 2.8.2 诺顿定理               | 57 |
| 2.9 特勒根定理                | 59 |
| 2.10 互易定理                | 62 |
| 2.11 置换定理                | 64 |
| 2.12 对偶原理                | 66 |
| 2.13 小知识——稳压电源的挑选        | 67 |
| 2.14 习题                  | 68 |
| <b>第 3 章 直流电路基本定律分析法</b> | 75 |
| 3.1 2b 分析法               | 75 |
| 3.2 支路电流法                | 76 |
| 3.3 网络的独立变量              | 77 |
| 3.4 节点电压法                | 78 |
| 3.4.1 节点电压法概述            | 78 |
| 3.4.2 特殊情况的处理            | 81 |
| 3.5 网孔电流法                | 83 |
| 3.5.1 网孔电流法概述            | 83 |
| 3.5.2 特殊情况的处理            | 85 |

|            |                         |            |
|------------|-------------------------|------------|
| 3.6        | 回路电流法 .....             | 88         |
| 3.7        | 小知识——日光灯的工作原理 .....     | 91         |
| 3.8        | 习题 .....                | 92         |
| <b>第4章</b> | <b>正弦稳态电路基本理论 .....</b> | <b>96</b>  |
| 4.1        | 研究交流电路的意义 .....         | 96         |
| 4.2        | 直流电路和交流电路分析的主要差异 .....  | 96         |
| 4.3        | 相量与复数的基本概念 .....        | 97         |
| 4.3.1      | 相量及相量分析法 .....          | 97         |
| 4.3.2      | 复数 .....                | 97         |
| 4.3.3      | 复数的运算 .....             | 98         |
| 4.4        | 正弦量的相量表示法 .....         | 100        |
| 4.5        | 相量的运算性质 .....           | 102        |
| 4.6        | 电路定律的相量形式 .....         | 103        |
| 4.6.1      | 基尔霍夫定律的相量形式 .....       | 103        |
| 4.6.2      | 电路元件的相量模型 .....         | 104        |
| 4.6.3      | 复数阻抗 .....              | 108        |
| 4.6.4      | 复数导纳 .....              | 110        |
| 4.7        | 正弦稳态电路的功率 .....         | 114        |
| 4.7.1      | 瞬时功率和有功功率 .....         | 114        |
| 4.7.2      | 视在功率和无功功率 .....         | 116        |
| 4.7.3      | 复功率 .....               | 122        |
| 4.7.4      | 最大功率传输 .....            | 122        |
| 4.8        | 电路的谐振 .....             | 124        |
| 4.8.1      | RLC 串联电路的谐振 .....       | 124        |
| 4.8.2      | RLC 并联电路的谐振 .....       | 129        |
| 4.9        | 互感电路 .....              | 132        |
| 4.9.1      | 互感的基本概念 .....           | 132        |
| 4.9.2      | 互感元件的相量模型 .....         | 134        |
| 4.9.3      | 互感的去耦等效 .....           | 135        |
| 4.10       | 空心变压器 .....             | 137        |
| 4.11       | 理想变压器 .....             | 140        |
| 4.12       | 小知识——组合音箱 .....         | 141        |
| 4.13       | 习题 .....                | 143        |
| <b>第5章</b> | <b>正弦交流电路分析法 .....</b>  | <b>148</b> |
| 5.1        | 阻抗网络的等效分析 .....         | 148        |
| 5.1.1      | 纯电感网络的等效 .....          | 149        |
| 5.1.2      | 纯电容网络的等效 .....          | 150        |

|              |                        |            |
|--------------|------------------------|------------|
| 5.1.3        | 阻抗的串联分析 .....          | 151        |
| 5.1.4        | 阻抗的并联分析 .....          | 151        |
| 5.1.5        | 滤波和移相 .....            | 152        |
| 5.2          | 独立电源电路的等效分析 .....      | 156        |
| 5.2.1        | 电源的串联与并联 .....         | 156        |
| 5.2.2        | 有伴电源的相互等效 .....        | 157        |
| 5.2.3        | 理想电源与任意元件的连接等效 .....   | 158        |
| 5.3          | 受控电源电路的等效分析 .....      | 159        |
| 5.4          | 叠加定理和齐次定理 .....        | 160        |
| 5.5          | 替代定理 .....             | 160        |
| 5.6          | 戴维南定理和诺顿定理 .....       | 161        |
| 5.7          | 其他定理 .....             | 162        |
| 5.8          | 基本定律分析法 .....          | 163        |
| 5.9          | 综合练习 .....             | 165        |
| 5.10         | 小知识——触电 .....          | 172        |
| 5.11         | 习题 .....               | 173        |
| <b>第 6 章</b> | <b>三相交流电路分析法 .....</b> | <b>178</b> |
| 6.1          | 三相交流电的概念 .....         | 178        |
| 6.2          | 三相电源的连接 .....          | 179        |
| 6.2.1        | 星形连接 .....             | 179        |
| 6.2.2        | 三角形连接 .....            | 180        |
| 6.3          | 三相负载的连接 .....          | 181        |
| 6.3.1        | 星形连接 .....             | 181        |
| 6.3.2        | 三角形连接 .....            | 183        |
| *6.4         | 不对称三相电路 .....          | 185        |
| 6.5          | 小知识——跨步电压 .....        | 188        |
| 6.6          | 习题 .....               | 188        |
| <b>第 7 章</b> | <b>动态电路分析法 .....</b>   | <b>190</b> |
| 7.1          | 动态电路及相关概念 .....        | 190        |
| 7.2          | 电路的状态与响应 .....         | 192        |
| 7.3          | 一阶动态电路分析 .....         | 195        |
| 7.3.1        | 一阶动态电路的零输入响应 .....     | 195        |
| 7.3.2        | 一阶动态电路的零状态响应 .....     | 200        |
| 7.3.3        | 一阶动态电路的全响应 .....       | 202        |
| 7.4          | 二阶动态电路分析 .....         | 205        |
| 7.4.1        | 二阶动态电路的零输入响应 .....     | 205        |
| 7.4.2        | 二阶动态电路的零状态响应和全响应 ..... | 211        |

|              |                        |            |
|--------------|------------------------|------------|
| 7.5          | 小知识——高压输电 .....        | 214        |
| 7.6          | 习题 .....               | 215        |
| <b>第 8 章</b> | <b>电路方程的矩阵形式 .....</b> | <b>220</b> |
| 8.1          | 电路的基本矩阵 .....          | 220        |
| 8.1.1        | 关联矩阵 .....             | 220        |
| 8.1.2        | 回路矩阵 .....             | 222        |
| 8.1.3        | 割集矩阵 .....             | 225        |
| 8.2          | 回路电流方程的矩阵形式 .....      | 227        |
| 8.3          | 节点电压方程的矩阵形式 .....      | 230        |
| 8.4          | 割集电压方程的矩阵形式 .....      | 231        |
| 8.5          | 小知识——汽车中的“电” .....     | 233        |
| 8.6          | 习题 .....               | 234        |
| <b>第 9 章</b> | <b>双端口网络 .....</b>     | <b>238</b> |
| 9.1          | 双端口网络的概念 .....         | 238        |
| 9.1.1        | 双端口网络概述 .....          | 238        |
| 9.1.2        | 研究双端口网络的意义 .....       | 239        |
| 9.1.3        | 研究双端口网络的方法 .....       | 240        |
| 9.2          | 双端口网络的方程与参数 .....      | 241        |
| 9.2.1        | $Z$ 方程与 $Z$ 参数 .....   | 241        |
| 9.2.2        | $Y$ 方程与 $Y$ 参数 .....   | 244        |
| 9.2.3        | $A$ 方程与 $A$ 参数 .....   | 247        |
| 9.2.4        | $H$ 方程与 $H$ 参数 .....   | 249        |
| 9.2.5        | $A'$ 方程与 $G$ 方程 .....  | 251        |
| 9.3          | 双端口网络的网络函数 .....       | 252        |
| 9.3.1        | 策动函数 .....             | 252        |
| 9.3.2        | 传输函数 .....             | 254        |
| 9.4          | 双端口网络的等效 .....         | 257        |
| 9.4.1        | $Z$ 参数等效电路 .....       | 258        |
| 9.4.2        | $Y$ 参数等效电路 .....       | 260        |
| 9.5          | 双端口网络的连接 .....         | 261        |
| 9.5.1        | 双端口网络的串联 .....         | 261        |
| 9.5.2        | 双端口网络的并联 .....         | 262        |
| 9.5.3        | 双端口网络的级联 .....         | 263        |
| 9.6          | 小知识——保险丝 .....         | 265        |
| 9.7          | 习题 .....               | 266        |

|                               |     |
|-------------------------------|-----|
| <b>第 10 章 电路及元器件的测量</b> ..... | 270 |
| 10.1 万用表 .....                | 270 |
| 10.2 模拟万用表原理 .....            | 271 |
| 10.2.1 动圈式表头 .....            | 271 |
| 10.2.2 电流测量原理 .....           | 272 |
| 10.2.3 电压测量原理 .....           | 273 |
| 10.2.4 电阻测量原理 .....           | 274 |
| 10.3 电路电流的测量方法 .....          | 275 |
| 10.4 电路电压的测量方法 .....          | 275 |
| 10.5 元器件的测量方法 .....           | 276 |
| 10.5.1 电阻的测量 .....            | 276 |
| 10.5.2 电感和电容的测量 .....         | 277 |
| 10.5.3 二极管的测量 .....           | 278 |
| 10.5.4 变压器的测量 .....           | 278 |
| 10.6 小知识——市电电压为什么是 220V ..... | 280 |
| 10.7 习题 .....                 | 280 |
| <b>参考文献</b> .....             | 282 |

# 第1章

## 电路的基本概念与理论

“电路”，是一个在人们生活和工作中出现频率很高的技术词汇，也是一个无处不在的物理系统。人们经常出入的卧室、教室、办公室、商城、酒店、体育馆、地铁站、火车站、飞机场等场所都需要照明电路；人们频繁使用的电视、空调、电话、冰箱、手机、计算机等电器设备都是由电路构成。因此，可以毫不夸张地说：电路与人们的生活息息相关。

那么，什么是“电路”？与之相关的基本概念和理论有哪些？

### 1.1 电路

#### 1.1.1 电路的概念

从字面上理解，可以认为电路就是为电流提供的通道，这与我们熟悉的“道路”是供车辆行驶的通道，“管路”是为水流或气流提供的通道在概念上类似。

从专业技术的角度上讲，我们认为：

电路是指由电源和电子设备或电子元器件通过导线按照一定规则互连而成具有特定功能的电流通路，如图 1-1 所示。

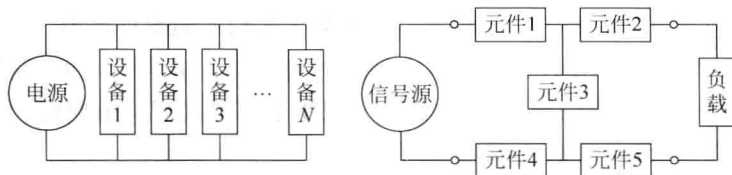


图 1-1 电路示意图

电子元器件是组成电路的最小(基本)单元。有人说元件也称为器件；还有人说元件指在生产加工时不改变分子成分的电子部件，如电阻器、电容器、电感器等，通常它们不需要电源就能工作；器件指在生产加工时改变了分子结构的电子部件，一般需要电源才能工作，例如晶体三极管、电子管、运算放大器和集成电路等。本教材不严格区分。

从宏观的角度上看，电路是一种可以完成特定任务或功能的系统；而从几何的角度上看，电路又可以看成是一个由线段和节点构成的网状图形或网络。因此，“电系统”、“电网络”是很常见的电路别称，希望读者能够认真体会其中的含义，为后续“信号与系统”等课程的学习奠定基础。

通常,电路主要完成三个任务或实现三个功能。

(1) 能量转换。电路可以将电能转换为机械能、热能等能量形式。比如由电源和电热丝构成的电路(电炉)可以把电能转换为热能,电源与电动机构成的电路可以把电能转换为机械能,电源与灯泡构成的电路可以把电能转换为光能等。

(2) 信号处理。此时,电路可以看作是一个“功能模块”或“变换系统”,能够把一种信号(系统的输入)处理成另一种信号(系统的输出)。比如“放大器(电路)”可以把小信号变为大信号,“滤波器(电路)”可以把方波信号变为正弦波等。

(3) 数据存储与计算。比如计算机中的存储器和 CPU 等由电路构成的部件可实现对数据的存储和计算。

电路功能示意图如图 1-2 所示。

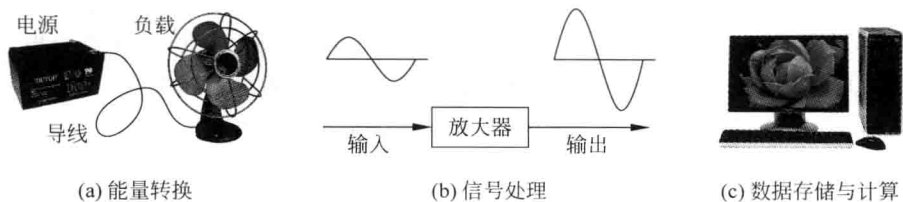


图 1-2 电路功能示意图

### 1.1.2 电路的分类

根据不同标准,电路有多种分类。

(1) 根据工作电流或电压的不同,分为直流电路和交流电路。以直流电压或电流工作的电路叫直流电路,以交流电压或电流工作的就是交流电路。

(2) 根据是否包含电源,分为含源电路和无源电路。包含电源的电路叫含源电路,没有电源的叫无源电路。注意,在模拟电路和数字电路中的“有源”电路是指含有晶体三极管、场效应管、电子管或运算放大器等一类需要电源才能工作的有源器件电路。

(3) 根据电路功能的不同,分为用电电路和处理电路。通常把以能量转换为目的的电路称为用电电路,比如照明电路、空调电路等;把用于信号处理的电路称为处理电路,比如放大电路、滤波电路、振荡电路、运算电路等。

通常,一个用电电路由供电和用电两大部分组成(如图 1-3(a)所示)。供电部分由能够提供电能的设备或元器件构成,并称为“电源”,比如我们熟悉的干电池和 220V 市电;而用电部分一般由消耗电能(换能)的设备或元器件构成,并称为“负载”或“外电路”,比如电饭煲、电炉、空调、洗衣机、照明设备和各种电阻元件等。处理电路包括供电电源、输入信号(信号源)、处理单元和负载四部分。在实际研究中,常常把处理单元部分等效为一个有特殊处理或变换功能的双口网络或系统,如图 1-3(b)所示。由于我们主要对处理电路的输入与输出感兴趣,默认电路处于正常工作状态,所以,一般不考虑供电电源。

(4) 根据电路中元器件的不同,分为电子管电路、晶体管电路、集成电路以及由基本电子元件电阻  $R$ 、电感  $L$  和电容  $C$  为主要部件构成的  $RLC$  电路或含有各种元器件的混合电路等。

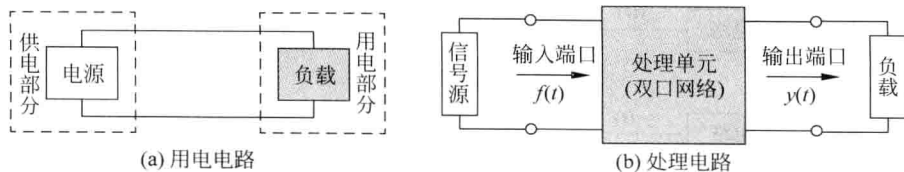


图 1-3 用电电路与处理电路示意图

(5) 根据电路工作(电流或电压)波长的不同,分为集中参数电路和分布参数电路。所谓集中参数电路是指由集中参数元件构成的电路。几何尺寸远远小于工作波长的元件就是集中参数元件,其特点是只用一个参数即可表征该元件,比如普通电阻、电感和电容。几何尺寸与工作波长可比拟(差不多)的元件就称为分布参数元件,这类元件必须用多个参数才能描述其特性,比如“传输线”就必须用分布电阻、分布电感和分布电容同时表征。人们平常接触的大多数电路是集中参数电路,因此,若不加说明,以后遇到的电路均是集中参数电路。

(6) 根据元件特性的不同,分为线性电路和非线性电路。由线性元器件构成的电路就是线性电路,比如普通的  $RLC$  电路;而包含非线性元器件的电路就是非线性电路,比如由二极管构成的整流电路。

由于对非线性电路的分析研究比较困难,所以,人们往往先对线性电路进行研究,然后对非线性电路进行适当的近似,并将线性电路的研究结果应用于非线性电路,从而完成对非线性电路的分析与研究工作。显然,线性电路分析是我们学习的基础和重点。

综上所述,尽管各种电路的构成不尽相同、功能千差万别,但有三个主要角色——电阻、电感和电容是每个电路不可或缺的组成部件。对由它们构成的电路的研究,是分析其他电路的前提和基础。因此,“电路分析”课程的主要内容就是介绍由基本电路元件电阻、电感和电容构成的线性电路的分析方法。

### 1.1.3 线性电路

如果把施加在电路上的电源(信号)叫做输入或激励,用  $f(t)$  表示,而把电路中某一处由该电源(信号)引起的电压或电流叫做输出或响应,用  $y(t)$  表示,则通常情况下,所谓的线性电路就是激励与响应之间满足“齐次性”和“叠加性”的电路。若需要讨论电路全响应的话,还需要电路满足“响应分解性”,即全响应可以分解为零输入响应和零状态响应之和(详见第7章)。

齐次性: 若激励  $f(t)$  扩大或缩小  $k$  倍,则响应  $y(t)$  也扩大或缩小  $k$  倍,如图 1-4(a)所示。

叠加性: 若激励  $f_1(t)$  引起响应  $y_1(t)$ ,而激励  $f_2(t)$  引起响应  $y_2(t)$ ,则  $f_1(t) + f_2(t)$  引起的响应为  $y_1(t) + y_2(t)$ 。叠加性也称可加性,如图 1-4(b)所示。

“齐次性”和“叠加性”统称为“线性”,如图 1-4(c)所示。“线性”用数学形式可表达为若

$$f(t) \rightarrow y(t)$$

则有

$$k_1 f_1(t) + k_2 f_2(t) \rightarrow k_1 y_1(t) + k_2 y_2(t)$$

需要说明的是,若从电路构成的角度上看,线性电路也可认为是由线性元器件构成的电路。所谓线性元器件指的是外特性满足线性关系的元器件,比如普通的电阻、电感和电容。