



中国人民公安大学 “十二五” 规划教材

电路分析

DIANLUFENXI

胡诗妍 / 主编



中国人民公安大学出版社

013040849

TM133
80

中国人民公安大学“十二五”规划教材

电路分析

主编 胡诗妍



中国人民公安大学出版社



北航

C1649223

TM133

80

P38040810

图书在版编目 (CIP) 数据

电路分析 / 胡诗妍主编. —北京: 中国人民公安大学出版社, 2013. 1

中国人民公安大学“十二五”规划教材

ISBN 978 - 7 - 5653 - 1231 - 1

I. ①电… II. ①胡… 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 (2013) 第 020059 号

电路分析

胡诗妍 主编

出版发行: 中国人民公安大学出版社

地 址: 北京市西城区木樨地南里

邮政编码: 100038

经 销: 新华书店

印 刷: 北京兴华昌盛印刷有限公司

版 次: 2013 年 3 月第 1 版

印 次: 2013 年 3 月第 1 次

印 张: 15.25

开 本: 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

字 数: 265 千字

书 号: ISBN 978 - 7 - 5653 - 1231 - 1

定 价: 38.00 元

网 址: www.cppsups.com.cn www.porclub.com.cn

电子邮箱: zbs@cppsup.com zbs@cppsu.edu.cn

营销中心电话: 010 - 83903254

读者服务部电话 (门市): 010 - 83903257

警官读者俱乐部电话 (网购、邮购): 010 - 83903253

教材分社电话: 010 - 83903259

本社图书出现印装质量问题, 由本社负责退换

版权所有 侵权必究

中国人民公安大学“十二五”规划教材

编审委员会

主 任：程 琳

副主任：刘 舒 汪 勇

委 员：（按姓氏笔画排序）

马 骏	王大为	王宏君	仇加勉
卢兆民	刘宏斌	毕惜茜	任士英
杜晋丰	杜彦辉	李锦涛	吴益跟
罗振峰	孟昭阳	孟宪文	赵 颖
郭 威			

电 路 分 析

主 编：胡诗妍

副主编：李锦涛 高 洁

主 审：张吉春

撰稿人：宋振峰 陈 鹏 曾昭龙 颜靖华

前 言

教材是体现教学内容和教学方法的知识载体，是联系教与学的有效传媒，是学科建设和课程改革的成果凝结，是高等院校教学科研工作的重要组成部分。中国人民公安大学历来高度重视教材建设，始终把教材建设作为教学建设的基础性工作来抓，并使之在深化公安教育改革、提高教学水平和质量、全面推进素质教育和公安专业教育、确保高素质公安专门人才培养目标实现方面发挥重要作用。

随着我国经济社会的快速发展，科教兴国和人才强国战略全面实施，特别是党的十七届六中全会提出推动社会主义文化大发展大繁荣的新要求，高等教育的改革和发展正面临着新的机遇和挑战。中国人民公安大学按照公安部党委的“科教强警”战略部署，紧紧围绕建设国际一流警察大学的奋斗目标，以改革创新为动力，努力把公安大学建设成为科技强警的生力军、教育训练的主阵地、提高民警素质的大熔炉和对外警务交流的新窗口。近年来，学校遵循“高教与培训相结合、教书与育人相结合、教学与科研相结合、理论与实践相结合、调研与智库相结合”的办学思路，密切结合公安一级学科建设和“教、学、练、战一体化”人才培养模式改革，兴调查研究之风，施科研创新之策，行教学改革之举，深入推动理论创新、技术创新、教法创新和管理创新，涌现出一批体现先进教育理念、贴近警务实战的教学科研成果，取得显著成效。根据《国家中长期教育改革和发展规划纲要（2010-2020年）》、公安部党委《关于加强和改进公安教育训练工作的意见》和新世纪首次全国公安教育训练工作会议精神，按照教育部《关于“十二五”普通高等教育本科教材建设的若干意见》的要求，学校制定了《中国人民公

安大学“十二五”本科教材建设规划》，并正式启动新一轮规划教材编写工作。

中国人民公安大学“十二五”规划教材，以凝练特色、打造精品、形成体系、合理配套、突出实践、创新载体、提高质量为指导，密切配合中国人民公安大学2010本科培养方案实施，充分体现“完善教材体系，促进学科建设，服务公安教育，倡导改革创新”的基本精神，在内容上力求正确阐述本学科及相关学科的基础知识、基本理论、基本框架和发展前沿，既有一定的理论深度，又注重理论与实际的结合，既反映了公安工作和公安队伍建设的新问题、新理论、新方法和新趋势，贴近警务改革和创新实践，又反映了公安学科专业与课程建设的新进展、新实践和动态前沿，吸纳、固化并传播最新成果。

“十二五”规划教材建设是在学校教材建设与管理委员会的统一领导和组织下开展的。每门教材由中国人民公安大学学科带头人、教学名师、骨干教师牵头负责，充分发挥各课程组的作用，并邀请公安业务部门高水平的领导和专家参加，组成了强大的编写阵容。从内容体系确定到封面设计、装帧和排版，均遵从了严格的质量监控和编写规范。在择优确定教材主编的基础上，实行了公开评审的审稿制度，由学术造诣高、实践经验丰富的专家学者审稿，确保教材质量。

我们相信，经过组织者、编写者、出版者的共同努力，中国人民公安大学“十二五”规划教材能够以体系完善、内容丰富、特色鲜明的精品特质，服务公安院校的教学和广大民警自学，为培养“忠诚可靠、业务扎实、敢于创新、精于实战、一专多能、作风优良、身心健康”的高素质公安专门人才发挥重要作用。

中国人民公安大学“十二五”规划教材编审委员会
二〇一一年十二月

编者的话

为适应公安学和公安技术一级学科建设与课程体系改革的需要,培养具有创新精神的高素质应用型人才。《电路分析》编写组在认真领会《国家中长期教育改革和发展规划纲要(2010-2020年)》以及教育部、公安部、北京市教委等部门有关教材建设精神的基础上,按照构建“教学练战一体化应用型人才培养模式”的要求,对电路原理体系的内容认真精选、调整和凝练,以使本教材更适合电子信息类各专业本科学生的教学要求。

“电路分析”课程是大学电类专业重要的技术基础课,是电子技术类课程的选修课程。该课程概念清晰、理论丰富、方法灵动、体系完整,是公认的电类本科专业的经典课程,其本身严谨的科学性、灵活多变的方法论对于开启学生心智、锻炼思维、提高分析和解决实际问题的能力都是非常重要的。为此,编写组在编写本书时,特别遵循了以下几个方面的原则:

一是注重基础,删繁就简。20世纪80年代后,国内外相关专家一致认为本科电路课程的基本内容和范围大体已趋于稳定。面对非常丰富的电路理论体系,编写组依据“应用型人才的培养模式”,明确本课程的主要任务是为后续课程和学生将来的工作准备必要的基础知识,同时按照教学改革后学时削减的要求,从工程应用角度出发,不强调电路原理学科本身的要求,删减了一些不常用的过深的内容、过于严谨的理论推导、过于繁复的术语阐述。在内容安排上突出了电路理论中基本概念、基本定理、基本定律以及基本分析方法的阐述。

二是语言精练准确,注重案例教学。为了便于教材的教与学,我们力图采用深入浅出、精练准确的语言,采用循序渐进的叙述风格,增加教材的可读性,激发学生的学习热情。在启发诱导中让学生理解并掌握知识。我们通过大量的具有代表性的例题的分析求解过程的阐述,使读者对电路理论中严谨的概念、原理和方法,完成从感性到理性的认识过程。

三是精选例题和习题,便于教与学。编写组成员基于多年教学经验、科研成果的积累,并查阅大量同类教材以及网络上同行的大量的教学课件,精

心筛选例题和习题。精选的原则是摒弃偏题、怪题、难题。例题方面注重知识点的靶向性、典型性，以利于教师教学，利于学生自学。习题方面难度适中，注重知识点的复习巩固，并增设一些有趣的工程实用电路问题，以开阔读者视野。

四是注重电路理论的应用性阐述。电路理论源于人类对电的认识及应用的科学实践，因此本书阐述电路理论时，注重理论联系实际，注重电路定理、定律的实践应用的阐述。编写过程中，例题和习题中也增加了许多实用的电路问题，力求使读者能更好地理论联系实际，提升分析解决实际问题的能力。

五是附录中增设了 Multisim10 软件使用简介，便于电路分析实验实训课程的开展。EDA (Electronic Design Automation) 技术，也称为电子设计自动化技术，是在电子 CAD 技术基础上发展起来的计算机设计软件系统。EDA 技术发展与应用，极大推动了电子工业的发展。因此，学习和掌握 EDA 技术是电子信息类专业本科学生的必备技能。Multisim 则是时下最知名的 EDA 软件之一，它的前身是 EWB5.0。由于 Multisim 界面形象直观、操作方便、仿真分析功能强大等特点。是各级各类大中专院校开展电子技术类课程的实验实训课程必备的软件之一。因此为便于学生深入理解软件功能，本书编写内容增设了 Multisim10 软件基本使用简介。提供了较为全面的菜单使用命令的中英文对照、电路仿真中常用的操作方法、常用虚拟仪器的使用等内容。可供初学者作为手册查询。

本书适用于大学本科安全防范、信息警务、信息安全、计算机应用等专业使用。也可作为电子信息类、自动化、电子科学与技术等专业少学时的电路原理课程教材。

本书在编写过程中，吸收了北京理工大学等高校许多宝贵意见。感谢中国人民公安大学张吉春副教授、北京理工大学赵燕平教授审阅了书稿内容并提出许多宝贵意见。感谢中国人民公安大学洪卫军教授对本书编写过程中给予的关心和支持。另外，中国人民公安大学出版社的策划、编辑和有关同志与作者通力合作并给予了具体指导和帮助，在此表示衷心感谢。

《电路分析》编写组
2012 年 10 月

目 录

第 1 章 电路的基本概念和基本定律	(1)
1.1 电路与电路模型	(1)
1.1.1 实际电路	(1)
1.1.2 电路模型	(2)
1.2 电路的基本物理量	(3)
1.2.1 电流及其参考方向	(3)
1.2.2 电压及其参考方向	(4)
1.2.3 电功率	(5)
1.3 基尔霍夫定律	(6)
1.3.1 基尔霍夫电流定律 (KCL)	(7)
1.3.2 基尔霍夫电压定律 (KVL)	(8)
1.4 电阻电路的等效变换	(9)
1.4.1 电阻的串联与并联	(10)
1.4.2 $Y-\Delta$ 等效变换	(13)
1.5 电源元件	(16)
1.5.1 理想电压源与理想电流源	(16)
1.5.2 实际电源的两种模型及其等效变换	(18)
1.5.3 受控电源	(20)
【本章小结】	(22)
【习 题】	(22)
第 2 章 电路基本分析方法	(26)
2.1 支路电流分析法	(26)
2.1.1 KCL 和 KVL 独立方程数	(26)
2.1.2 支路电流法	(28)
2.2 网孔电流分析法	(29)

电路分析

2.2.1 网孔分析法	(29)
2.2.2 网孔 KVL 方程的一般形式	(30)
2.3 节点电压分析法	(33)
2.3.1 节点电压法	(33)
2.3.2 节点 KCL 方程的一般形式	(34)
【本章小结】	(37)
【习 题】	(38)
第3章 电路定理与应用	(46)
3.1 替代定理	(46)
3.1.1 替代定理	(46)
3.1.2 替代定理的应用	(48)
3.2 叠加定理	(49)
3.2.1 叠加定理	(49)
3.2.2 叠加定理的应用	(50)
3.3 戴维南定理和诺顿定理	(52)
3.3.1 戴维南定理及应用	(53)
3.3.2 诺顿定理及应用	(57)
3.4 最大功率传输定理	(60)
3.4.1 负载获得最大输出功率的条件	(60)
3.4.2 最大功率传输定理及应用	(61)
【本章小结】	(62)
【习 题】	(63)
第4章 电路的瞬态分析	(70)
4.1 储能元件与换路定律	(70)
4.1.1 电容元件	(70)
4.1.2 电感元件	(73)
4.1.3 电容和电感的串、并联	(76)
4.1.4 换路定律	(81)
4.2 一阶 RC 电路瞬态分析	(84)
4.2.1 RC 放电电路的零输入响应	(84)
4.2.2 RC 充电电路的零状态响应	(87)
4.3 一阶 RL 电路瞬态分析	(90)
4.3.1 RL 放电电路的零输入响应	(90)

4.3.2 RL 充电电路的零状态响应	(92)
4.4 一阶电路的全响应与三要素法	(94)
4.4.1 一阶电路的全响应	(94)
4.4.2 三要素法	(95)
【本章小结】	(99)
【习 题】	(100)
第 5 章 正弦交流电路	(105)
5.1 正弦信号与相量法	(105)
5.1.1 复数知识回顾	(105)
5.1.2 正弦量	(107)
5.1.3 相量法基础	(108)
5.2 电路的相量模型	(109)
5.2.1 基尔霍夫定律相量形式	(109)
5.2.2 基本元件的相量模型	(110)
5.3 阻抗与导纳	(116)
5.3.1 阻抗	(116)
5.3.2 导纳	(118)
5.4 相量分析的一般方法	(120)
5.4.1 网孔分析法	(120)
5.4.2 节点分析法	(121)
5.4.3 戴维宁等效法	(122)
5.5 正弦交流电路功率	(123)
5.5.1 阻抗电路中的功率	(123)
5.5.2 R 、 L 、 C 元件功率	(125)
5.5.3 复功率	(127)
5.5.4 共轭匹配	(129)
【本章小结】	(131)
【习 题】	(133)
第 6 章 耦合电感与变压器电路	(138)
6.1 耦合电感	(138)
6.1.1 互感系数与耦合系数	(138)
6.1.2 耦合电感的同名端	(139)
6.1.3 耦合电感的伏安关系 VAR	(141)

电路分析

6.2 耦合电感的去耦等效	(143)
6.2.1 串联型耦合电感的等效	(143)
6.2.2 并联型耦合电感的等效	(145)
6.2.3 T型耦合电感的等效	(146)
6.3 变压器电路	(149)
6.3.1 空心变压器	(150)
6.3.2 全耦合变压器	(152)
6.3.3 理想变压器	(154)
【本章小结】	(157)
【习 题】	(159)
第7章 电路的谐振	(163)
7.1 RLC 串联电路谐振	(163)
7.1.1 RLC 串联谐振条件与谐振频率	(163)
7.1.2 RLC 串联电路谐振时的特点	(164)
7.1.3 特性阻抗与品质因数	(165)
7.1.4 选频特性	(167)
7.2 RLC 并联电路谐振	(171)
7.2.1 RLC 并联谐振条件与谐振频率	(171)
7.2.2 RLC 并联电路谐振时的特点	(172)
7.2.3 电感线圈与电容并联电路的谐振	(172)
【本章小结】	(175)
【习 题】	(176)
第8章 三相交流电路	(179)
8.1 三相交流电路的概念	(179)
8.1.1 三相交流电源的产生	(179)
8.1.2 对称三相交流电源的电路模型	(180)
8.1.3 三相负载的电路模型	(183)
8.2 三相交流电路分析	(184)
8.2.1 星形负载电路分析	(184)
8.2.2 三角形负载电路分析	(186)
8.3 三相交流电路的功率	(189)
8.3.1 三相功率的一般关系	(189)
8.3.2 三相对称电路功率	(190)

【本章小结】	(192)
【习 题】	(193)
附录 A Multisim10 电路仿真设计软件简介	(197)
A. 1 Multisim 10 基本操作	(197)
A. 1. 1 基本界面	(197)
A. 1. 2 文件基本操作	(198)
A. 1. 3 元器件基本操作	(198)
A. 1. 4 文本基本操作	(199)
A. 2 Multisim 10 电路创建	(201)
A. 2. 1 元器件	(201)
A. 2. 2 电路图	(202)
A. 3 Multisim 10 操作界面	(204)
A. 3. 1 Multisim 10 菜单栏	(204)
A. 3. 2 Multisim 10 元器件栏	(211)
A. 3. 3 Multisim 10 仪器仪表栏	(211)
A. 4 Multisim 10 虚拟仪器仪表使用	(212)
A. 4. 1 虚拟数字万用表 (Multimeter)	(212)
A. 4. 2 虚拟函数发生器 (Function Generator)	(212)
A. 4. 3 虚拟瓦特表 (Wattmeter)	(214)
A. 4. 4 虚拟双通道示波器 (Oscilloscope)	(214)
A. 4. 5 虚拟四通道示波器 (4 Channel Oscilloscope)	(216)
A. 4. 6 虚拟波特图仪 (Bode Plotter)	(216)
A. 4. 7 虚拟频率计 (Frequency coueter)	(218)
附录 B 各章习题参考答案	(219)
参考书目	(226)

|| 第1章 || 电路的基本概念和基本定律

【教学重点与难点】

电路中的电流及电压的参考方向

基尔霍夫电流与电压定律及其应用

理想电压源与电流源及其等效变换

电路中的受控源定义及类型

1.1 电路与电路模型

电路是由电路器件为实现能量的输送和转换，或者实现信号的传递和处理而组合后的总称。在电路理论中人们所讲的电路都是由实际电路抽象而来的，由理想电路元件构成了电路模型，作为研究电路的基础。

1.1.1 实际电路

在日常生活中，人们最常见的电路，如电灯、电脑、电视、空调等各种电器都是由各种电路基本部件（电阻器、电容器、电感器、二极管、三极管等）组成的总体。虽然组成电路的器件多种多样，但都是由三个基本部分组成，即电源（或信号源）、负载和导线。

（1）电源：向电路提供电能的装置，其作用是可以将其他形式的能量，如化学能、光能、热能、机械能等非电能转换为电能，比如蓄电池、发电机等。

（2）负载：电路中的用电器，负责将电能转换成各种形式的非电形态能量，如电动机、照明灯、电炉等。

（3）导线：主要连接电路中的电源和负载，起着沟通电路、输送电能的作用。

图 1.1 是一个简单的照明电路。该电路由电源（干电池）、负载（灯泡）和中间环节（导线、开关）三部分组成。

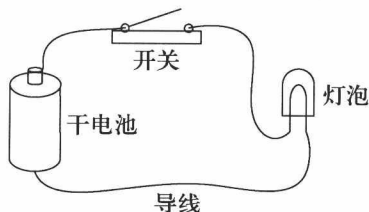


图 1.1 简单照明电路

电路分析

当开关闭合时，电流从电源的正极通过导线流过照明灯中的灯丝，并回到电源负极。当灯丝有电流流过时，就将电能变成了热能和光能。

总而言之，虽然实际电路种类繁多，但从本质上来说，都是由电源、负载和中间环节三部分组成，因此又称为组成电路的三要素。

1.1.2 电路模型

虽然电路的基本组成要素可以分为电源、负载和中间环节，但实际电路实体形式和种类多种多样不胜枚举。因此，为了便于电路的分析和计算，人们将电路实体中各个实际的电路器件都用表征其物理性质的理想元件来代替。这种用理想电路元件组成的电路就称为电路实体的电路模型。电路中最基本的三种元件包括电阻、电容、电感，它们具有单一的电磁性质。理想的电阻、电容、电感元件模型分别如图 1.2 (a)、(b)、(c) 所示。

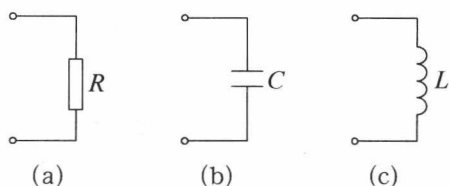


图 1.2 理想化电路元件模型

关于理想化需要说明的是：所谓的“理想”，是指对某一个元件仅仅考虑它的主要电磁性质，而有些次要的电磁性质在某种条件下是可以忽略不计的。例如，一个电感元件是用漆包铜线绕制而成，那么这一段铜线就会存在一些电阻，而所绕的电感元件的线圈之间也会存在一些分布电容，在理想电感中就把存在的微量电阻和电容都忽略不计了。因此，真正理想电路元件在实际中是不存在的。这里所介绍的各种电路模型一般只适用于低频电路，而在高频电路中，有时还必须要考虑电感元件中存在的电阻和电容的影响，这时可以用“分布电路模型”来描述电路：将一个理想的电感 L 串联一个理想电阻 R 或者再加一个理想电容 C 来等效实际电感。电感器的电路模型如图 1.3 所示。

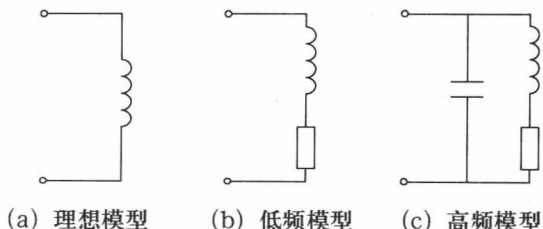


图 1.3 电感器的电路模型

有了电路模型的概念,可以将图 1.1 所示的照明电路用一个电路模型来表示,如图 1.4 所示。

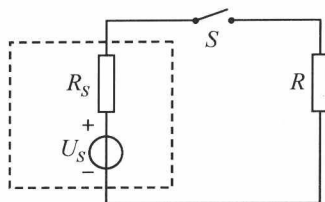


图 1.4 简单照明电路的电路模型

图中, R 表示照明设备; S 表示开关; U_s 表示电源两端开路电压; R_s 表示电源的内阻。

1.2 电路的基本物理量

电路分析中的基本物理量包括电流、电压和电功率,这三个物理量在电路分析中起着至关重要的作用。其中电压和电流是具有方向性的物理量,在进行电路的分析和计算时,常常涉及电压和电流的方向问题。

1.2.1 电流及其参考方向

电流是电荷有规律的定向移动的结果。电流的大小称电流强度,即单位时间内通过导体横截面的电荷量,电流强度表达式为:

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

在式 (1-1) 中,用 i 表示随时间变化的电流,用 dq 表示在 dt 时间内通过导体横截面的电荷量。电荷量 q 的单位是库仑 (C),时间单位为秒 (s),电流强度单位是安培 (A)。对于很小的电流可用毫安 (mA)、微安 (μA) 甚至用纳安 (nA),它们之间的换算关系为:

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

在简单直流电路中,电流的大小和方向不随时间变化,根据电源的极性判断出电流的方向;但是在交流电路中,电流的大小和方向是随时间变化的,因此在电路分析中,只能先假定一个方向作为电路分析和计算时的参考,这些假定的方向称为参考方向。在电路图中,电流的参考方向用箭头表示,如图 1.5 所示。当根据参考方向求得的电流 i 是正值时,说明参考方向与它们的实际方向一致,实际电流由 a 流向 b ;如果求得的电流为负值,说明参考方向与实际方向相反,实际电流由 b 流向 a 。