

新编电气与电子信息类本科规划教材

电路分析 基础教程

Fundamentals of Circuit Analysis

燕庆明 主编



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

新编电气与电子信息类本科规划教材

电路分析基础教程

燕庆明 主编

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书是为一般应用型本科院校的学生编写的教材。内容符合教育部制订的高等学校电子、电气信息类电路分析基础课程教学基本要求。全书共分9章：基本知识、电阻电路的分析方法、常用的电路定理、正弦稳态电路分析、互感耦合电路与三相电路、电路的频率特性与谐振、双口网络的方程与特性、动态电路：时域分析、动态电路： s 域分析。本书突出概念、简明易懂、注重应用、图文并茂。书中配有思考题、习题和模拟试题，便于学生思考和复习。

本书可作为电子信息、通信工程、自动化、电气工程、电子科学与技术、计算机应用、微电子、检测与仪器仪表、医学电子等专业的教材，也可供高职高专、成人学校的学生和广大科技工作者参考。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

电路分析基础教程/燕庆明主编. —北京:电子工业出版社,2009.7

(新编电气与电子信息类本科规划教材·电子电气基础课程)

ISBN 978-7-121-09191-9

I. 电… II. 燕… III. 电路分析-高等学校-教材 IV. TM133

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第109625号

责任编辑:韩同平 特约编辑:李佩乾

印 刷:北京季蜂印刷有限公司

装 订:三河市万和装订厂

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编:100036

开 本:787×1092 1/16 印张:16.5 字数:423千字 彩插:4

印 次:2009年7月第1次印刷

印 数:4000册 定价:29.00元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

前 言

致学生

电路分析基础课程是电类专业大学生的入门课程，是重要的技术基础课。

本课程体系完整，理论优美，方法灵活，应用广泛，历来深受学子们的重视和喜爱。本书以高等教育大众化为背景，以一般本科院校应用型本科生为对象，以简明通俗易懂为写作方法，以基本概念、基本规律、基本分析方法为重点，深入浅出，循序渐进，以小知大，以简代繁，从感性到理性地介绍电路分析的核心内容。特别是书中列举了大量的应用性例子，这对于学生从理论与实际的结合中提高分析问题的能力是大有好处的。

值得指出的是，对于初学者而言，要学好这门课程并不是太容易的事。学习的方法是什么？一句格言说得好：为学者，善其端，积跬步而持之以恒，悟意方寸。这就是慎足下而至千里，善始才能善成的道理。

致老师

这是一本简明教材。为了适应教学，本书以三基为重点，突出概念、强化应用。删去了一些复杂、抽象的理论。书中打“*”号的内容可根据专业需要选学。对于后续课程开设信号与系统的专业，第9章可以不讲，以免重复。

教学是一门艺术。教学有法，教无定法。作者认为最基本的有两条：一是“少而精”的原则。因为“少则得，多则惑”。二是简单性原则。对于本书所定位的学生对象，只有从简单的事物入手引导学生顺利入门，才有可能进一步深造。江河美在波涛，诗歌美在意境，规律美在简约，理论贵在应用。简单而有用的才是最基础的。

实施本课程的教学课时可在64~72学时的范围内调整（通常另设实验16学时）。下面列出两种实施方案，以供参考：

章 次	内 容	64 学时方案	72 学时方案
1	基本知识	10	10
2	电阻电路的分析方法	6	8
3	常用的电路定理	6	6
4	正弦稳态电路分析	12	14
5	互感耦合电路与三相电路	6	6
6	电路的频率特性与谐振	8	8
7	双口网络的方程与特性	4	4
8	动态电路：时域分析	8	10
*9	动态电路： s 域分析	4	6

注：若第9章不讲授，多余时间可用于习题课和复习

本书可供一般应用型本科院校的电子信息工程、通信工程、自动化、电气工程、电子科学与技术、计算机应用、检测技术与仪器等专业作为教材。也可供高职高专的学生和广大工程技术人员参考。

本书由燕庆明主编，鲁纯熙参编第7、9章。何毓和郑晖参编了附录A、B等内容。电子工业出版社的韩同平编辑与编者愉快合作，提供帮助，使本书得以顺利出版，特致感谢。

时代在进步，创新无穷期，不才恐有误，赐教利来日。

E-mail: Ellenyx_2003@163.com

编 者
于江南大学

目 录

第 1 章 基本知识	(1)
1.1 电路理论发展简介	(2)
1.1.1 理论发现	(2)
1.1.2 重要发明	(3)
1.2 电路的分类及电路模型	(4)
1.2.1 电路的分类	(4)
1.2.2 电路模型	(5)
1.2.3 电路分析课程的任务	(6)
1.3 电路的基本物理量	(7)
1.3.1 电流与电压	(7)
1.3.2 功率与能量	(8)
1.4 基尔霍夫定律	(9)
1.4.1 基尔霍夫电流定律(KCL)	(9)
1.4.2 基尔霍夫电压定律(KVL)	(10)
1.5 电阻元件	(11)
1.5.1 电阻元件与欧姆定律	(11)
1.5.2 电阻的串联与并联	(13)
1.5.3 应用举例	(15)
1.6 电源元件	(18)
1.6.1 电压源与电流源	(18)
1.6.2 实际电源的模型及等效	(19)
1.7 受控源	(22)
1.8 等效变换	(24)
1.8.1 等效概念	(24)
1.8.2 $Y-\Delta$ 等效变换	(26)
小结	(29)
习题一	(30)
第 2 章 电阻电路的分析方法	(35)
2.1 支路电流法	(36)
2.1.1 KCL 和 KVL 方程的独立性	(36)
2.1.2 支路电流法	(37)
2.2 网孔分析法	(37)
2.3 节点分析法	(40)

2.4 含运算放大器电路的分析	(43)
2.4.1 理想运算放大器的特性	(43)
2.4.2 应用:电阻应变器检测电路	(45)
*2.5 非线性电阻电路	(46)
2.5.1 非线性电阻特性	(46)
2.5.2 直流分析与应用	(48)
小结	(51)
习题二	(51)
第3章 常用的电路定理	(55)
3.1 叠加定理	(56)
3.2 替代定理	(58)
3.3 等效电源定理	(60)
3.3.1 戴维南定理	(61)
3.3.2 诺顿定理	(64)
3.3.3 应用举例	(64)
3.4 最大功率传输定理	(66)
小结	(69)
习题三	(69)
第4章 正弦稳态电路分析	(72)
4.1 正弦信号与相量	(73)
4.1.1 正弦信号	(73)
4.1.2 相量的概念	(75)
4.2 储能元件	(78)
4.2.1 电容元件	(78)
4.2.2 电感元件	(80)
4.2.3 应用举例	(82)
4.3 电路的相量模型	(85)
4.3.1 KCL 和 KVL 的相量表示	(85)
4.3.2 基本元件的正弦稳态响应及相量模型	(85)
4.4 阻抗与导纳	(90)
4.4.1 阻抗	(90)
4.4.2 导纳	(93)
4.5 相量分析的一般方法	(96)
4.5.1 网孔分析法	(96)
4.5.2 节点分析法	(97)
4.5.3 戴维南等效法	(98)
4.5.4 应用举例	(99)
4.6 正弦稳态电路的功率	(99)
4.6.1 平均功率	(99)
4.6.2 复功率	(102)

4.6.3 共轭匹配	(104)
4.6.4 应用举例	(106)
小结	(107)
习题四	(109)
第5章 互感耦合电路与三相电路	(112)
5.1 耦合电感电路	(113)
5.1.1 耦合电感元件	(113)
5.1.2 耦合电感的等效	(115)
5.2 变压器电路	(119)
5.2.1 全耦合变压器	(119)
5.2.2 理想变压器	(120)
5.3 三相电路	(123)
5.3.1 三相电源	(123)
5.3.2 三相电路的连接与计算	(124)
小结	(127)
习题五	(127)
第6章 电路的频率特性与谐振	(130)
6.1 网络函数	(131)
6.1.1 网络函数与频率特性	(131)
6.1.2 波特图的概念	(135)
6.1.3 滤波器的概念	(136)
6.2 典型网络的频率特性	(138)
6.2.1 低通频率特性	(138)
6.2.2 高通频率特性	(140)
6.2.3 带通频率特性	(141)
6.3 串联谐振电路	(143)
6.3.1 串联谐振	(143)
6.3.2 频率特性	(146)
6.3.3 应用举例	(148)
6.4 并联谐振电路	(149)
6.4.1 并联谐振	(149)
6.4.2 频率特性	(152)
小结	(153)
习题六	(154)
第7章 双口网络的方程与特性	(157)
7.1 双口网络的参数方程	(158)
7.1.1 Y 参数方程	(158)
7.1.2 Z 参数方程	(160)
7.1.3 H 参数方程	(161)

7.1.4 A 参数方程	(162)
7.2 网络函数与特性阻抗	(165)
7.2.1 策动点函数	(165)
7.2.2 转移函数	(167)
7.2.3 特性阻抗	(169)
7.2.4 应用举例	(171)
小结	(173)
习题七	(174)
第8章 动态电路:时域分析	(176)
8.1 一阶电路:零输入响应	(177)
8.1.1 一阶电路与换路定律	(177)
8.1.2 零输入响应与时间常数	(178)
8.2 一阶电路:零状态响应	(181)
8.2.1 零状态响应的概念	(181)
8.2.2 阶跃函数与阶跃响应	(185)
8.3 一阶电路:三要素法	(187)
8.3.1 三要素的确定	(187)
8.3.2 应用举例	(193)
8.4 二阶电路与零输入响应	(197)
8.4.1 二阶电路方程	(197)
8.4.2 零输入响应	(198)
小结	(201)
习题八	(202)
*第9章 动态电路:s 域分析	(206)
9.1 拉普拉斯变换	(207)
9.1.1 拉普拉斯变换的概念	(207)
9.1.2 拉普拉斯变换的重要性质	(210)
9.2 拉普拉斯反变换	(211)
9.3 冲激函数与冲激响应	(215)
9.3.1 单位冲激函数	(215)
9.3.2 冲激响应	(217)
9.4 电路的 s 域分析	(219)
9.4.1 电路的 s 域模型	(219)
9.4.2 应用举例	(224)
小结	(224)
习题九	(225)
附录 A 电路分析模拟试题	(227)
A.1 试题一及其参考答案	(227)
A.1.1 试题一	(227)
A.1.2 试题一参考答案	(229)

A. 2	试题二及其参考答案	(230)
A. 2. 1	试题二	(230)
A. 2. 2	试题二参考答案	(231)
A. 3	试题三及其参考答案	(232)
A. 3. 1	试题三	(232)
A. 3. 2	试题三参考答案	(236)
附录 B	实际电阻器和电容器的应用知识	(238)
B. 1	电阻器	(238)
B. 1. 1	电阻器的主要参数	(238)
B. 1. 2	常用电阻器的结构、特点及型号、规格的标志方法	(239)
B. 1. 3	电阻器的选用及注意事项	(240)
B. 1. 4	色码电阻的识别方法	(241)
B. 2	电容器	(242)
B. 2. 1	电容器的分类及其选用	(242)
B. 2. 2	电容器的标志方法及特性参数	(244)
	部分习题答案	(246)
	参考文献	(252)

第 1 章

基本知识

学习导言

复杂源于简单，知识贵在基础；细流乃成大海，有一方生万物。基本的才是最重要的。学习本章要重点掌握以下知识：

1. 电压、电流及参考方向的概念；
2. 基尔霍夫定律和欧姆定律的本质和应用方法；
3. 电阻元件、电源和受控源的概念；
4. 等效电阻和等效变换的概念。

1.1 电路理论发展简介

1.1.1 理论发现

电路理论与应用技术的发展,把人类带进了一个奇妙的电的世界。在电力、电子、通信、计算机、自动化等众多领域中,人们每天都享受着电带来的现代文明。回首往事,不得不叹服无数科学家历经曲折、不断探索所取得的重要成果。

电与磁总是相伴而生的。磁生电、电生磁的现象,是人们经过长期不断观察才认识的。我国古代早就发现了电磁现象。公元前 2637 年,我国人祖黄帝利用磁制成了罗盘针。据司马迁记载,公元前 9 世纪,航海家已使用指南针导航了。1600 年,英国物理学家吉尔伯特(W. Gilbert, 1540—1603)在他的书中第一次讨论了电与磁,因而被世人称为电学之父。

1660 年,德国科学家库里克(O. V. Guericke)制成了第一台产生静电的装置。1785 年,法国人库仑(C. A. Coulomb)定量地研究了两个带电体间的相互作用,得出了历史上最早的电学定律——库仑定律。这是人类在电磁现象认识上的一次飞跃。美国科学家富兰克林(B. Franklin, 1706—1790)在电的研究方面做了大量实验,并于 1749 年提出了正电和负电的概念。

1800 年,意大利物理学家伏特(A. Volta, 1745—1827)发明了第一种化学电源——铜锌电池,它能够把化学能不断地转变为电能,维持单一方向的电流持续流动。这一发明具有划时代的意义,引起了电磁学的一场革命。它为人们深入研究电化学、电磁学及其应用打下了物质基础。以后很快发现了电流的化学效应、热效应以及利用电来照明等。

1820 年,丹麦物理学家奥斯特(H. C. Oersted, 1777—1851)通过实验发现了电流的磁效应,在电与磁之间架起了一座桥梁,打开了近代电磁学的突破口。

1825 年,法国科学家安培(A. M. Ampere, 1755—1836)提出了著名的安培定律。他从 1820 年开始在测量电流的磁效应中,发现两个载流导线可以互相吸引,又可以互相排斥。这一发现成为研究电学的基本定律,为电动机的发明做了理论上的准备。

1827 年,当时德国的一位教师欧姆(G. S. Ohm, 1787—1854)通过多年的实验,发现了电阻上电压与电流的定量关系,发表了《电路的数学研究》,提出了今天普遍应用的欧姆定律。

1831 年,英国物理学家法拉第(M. Faraday, 1791—1867)发现了电磁感应现象。当他继续奥斯特的实验时,他坚信既然电能产生磁,那么磁也能产生电。他终于发现在线圈内运动的磁体可以在导线中产生电流。这一发现成为发电机和变压器的基本原理,从而使机械能变为电能成为可能,推动了电在工业上的广泛应用,使人类迈向了电气时代。

1847 年,德国科学家基尔霍夫(G. R. Kirchhoff, 1824—1887)在他还是一个 23 岁大学生的时候就提出了著名的电流定律和电压定律,这成为电路分析最基本的依据。

1864 年,苏格兰科学家麦克斯韦(J. C. Maxwell, 1831—1879)提出一组关于电和磁共同遵守的数学方程,即麦克斯韦方程,他预言空间一定存在电磁波。

1889 年,德国物理学家赫兹(H. R. Hertz, 1857—1894)经过艰苦的反复实验,证明麦克斯韦所预言的电磁波确实存在。

1.1.2 重要发明

随着人们对电的认识不断深化,各种有用的发明不断涌现。1837年,画家出身的美国人莫尔斯(S. F. Morse, 1791—1872)发明了电报。1843年,他用电报机从华盛顿向40 mi. (英里, 1 mi. $\approx$ 1.6 km)外的巴尔的摩发出电文。在他研究之初,为了说服别人为他投资,他得到的回答常常是:“先生,用导线传递消息,你为啥不发明一个能飞向月球的火箭呢?”但莫尔斯的创造欲望经过十多年的奋斗终于实现了。

1866年,德国工程师西门子(K. W. Siemens, 1823—1883)发现了电动原理并用在了发电机的改进上。由于电在各方面的应用日益广泛,如照明、电解、电镀、电力拖动等,迫切需要更方便地获取电能,以提高效率、降低成本。1882年,直流高压输电试验成功。但由于直流高压不便于用户直接使用,同年在发明变压器的基础上又实现了远距离交流高压输电。从此,电气化时代开始了。

1876年,另一项伟大发明在波士顿诞生了,这就是美国科学家贝尔(A. G. Bell, 1847—1922)发明了电话。贝尔当时仅是一名聋哑人学校的教师,但凭借对电流作用敏感的认识和不懈的努力,达到了通过导线互相通话的目的。经过不断改进,到1878年,他实现了从波士顿到纽约之间200 mi.的首次长途通话。贝尔曾经把电话的语音比喻为歌声,他说:“这歌声是永不停止的,因为这是对生活故事的歌颂,而生活是永不停止的。那高悬的电话线正在把生与死、成功与失败的消息传遍全球。”

1879年,美国的爱迪生(T. A. Edison, 1847—1931)发明了钨丝电灯。这位在一生中获得一千多项发明专利的发明家用电照亮了千家万户。他曾说过:“我的人生哲学是工作。我愿揭示自然界的秘密并用以造福于人类。我认为,我们在人世间短暂的一生中,最好的贡献莫过于此”。

1894年,意大利的马可尼(G. Marconi, 1874—1937)和俄国的波波夫分别发明了无线电。没有受过正规大学教育的20岁的马可尼利用赫兹的火花振荡器作为发射器,通过电键的开、闭产生断续的电磁波信号。1895年他发射的信号传送距离可达1 km以上,1897年发射的信号可在20 km之外接收到,从此开始了无线电通信的时代。

电真空器件的发明使电子工程的发展推进了一大步。英国科学家汤姆逊(J. Thomson, 1856—1940)在1895—1897年间反复测试,证明了电子确实存在。随后,英国科学家弗莱明(J. A. Fleming)在爱迪生发明的热二极管的基础上发明了实用的真空二极管。它具有单向导电特性,能用来整流或检波。1907年,美国人福斯特(L. D. Forest)发明了真空三极管,它对微弱电信号有放大作用。1914年,福斯特又用真空三极管构成了振荡电路,使无线电通信系统更加先进。

1925年,英国的贝尔德(J. L. Baird)首先发明了电视。几乎在同时,美国无线电公司(R. C. A)的工程师诺基(V. K. Zworykin)发明了电视显像管。1933年,他利用真空二极管、真空三极管和显像管,最早发明了电视机。1936年,黑白电视机就正式问世了。

1946年,世界又一个奇迹出现了。第一台电子计算机在美国宾夕法尼亚大学莫尔电子工程学院研制成功。这台称为ENIAC(Electronic Numerical Integrator And Calculator)的计算机是以美国数学家诺依曼(J. V. Neumann)为主设计的。这台计算机占地约165 m²,使用了18 000只真空电子管,重30 t(吨),每秒可运算5 000次,这在当时是史无前例的。今天的计算机已发展到第五代,速度可达几十万亿次。然而第一台计算机仍是划时代的。

人类的生产实践和科学实验是不断发展的,永远不会停止在一个水平上。从1948年起,固态电子学的时代向我们走来。1947年12月24日,贝尔实验室的布拉丁(Walter Brattain)、巴丁(John Bardeen)和肖克利(William Shockley)发明了一种点接触晶体管。这是一种全新的半导体器件,它体积小,电性能稳定,功耗低。这项发明自从1948年公布于世起,很快就应用于通信、电视、计算机等领域,促进了电气和电子工程技术的飞速发展。

从20世纪50年代末期开始,科学又把人类带入了微电子学时代。1958年,利用单晶硅材料,世界上第一片集成电路(Integrated Circuit, IC)在美国得克萨斯州诞生了。它的发明者是基尔比(J. Kilby, 1923—)。1961年,福查德公司生产出了第一片商用IC。到20世纪60年代末,在大约 $1/4$ in(英寸, $1\text{ in} = 2.54\text{ cm}$)的小硅片上可以集成6800个晶体管和数千个其他元件。从20世纪70年代起,集成电路技术飞速发展,各种大规模集成电路(Large Scale Integrated, LSI)和超大规模集成电路(Very Large Scale Integrated, VLSI)层出不穷。由于集成电路具有成本低、尺寸小、可靠性高、电性能优良等优点并广泛使用,从而引起了工业系统、通信系统、控制系统、计算机系统、测量系统、生物医学系统的革命性发展。

1790年,富兰克林在他84岁临终时曾经感慨地说:“科学的发展如此之快,以至于使我后悔出生得太早了。现在不可能想象,一千年后人类对物质的驾驭能力会推进到什么程度。人们为了运输的方便,也许能克服地球的引力而举起庞然大物;农民能减轻其劳动又使产量倍增;疾病可用有效的方法预防和治疗,人的寿命可以延长。”惊人的是,在他身后才过了二百多年,他的预言都已实现了。

关于电的理论和电子技术的发展,单就经典阶段和现代阶段而言,前后大体经历了200年。特别是最近的100年,其理论成果和发明创造几乎成指数式增长。电子科学的应用已经遍及计算机、通信、生物、海洋、航天和商业等各个领域。可以预料,关于电的未来前景一定是更加迷人的。

1.2 电路的分类及电路模型

1.2.1 电路的分类

所谓电路(circuit),是由电的器件相互连接而构成的电流的通路。复杂的电路又常称为网络。当然,网络的含义比较广泛,如交通网络、计算机网络、神经网络等。本书所称的网络均指电网络。电路的分类如下。

1. 集总参数电路与分布参数电路

如果实际电路的几何尺寸远小于其工作信号的波长时,可以认为电流传送到电路的各处是同时到达的,即没有时间延迟,这时整个电路可以看成电磁空间的一个点。这种条件下的电路称为集总参数电路(lumped circuit),否则就称为分布参数电路(distributed circuit)。

以常见的低频放大电路来说,假定它所传输的信号的最高频率为 $f = 30\text{ kHz}$,传播速度为光速 $c = 3 \times 10^8\text{ m/s}$,则信号的最小波长 λ 为

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8}{30 \times 10^3}\text{ m} = 10\text{ km}$$

可见其波长远大于通常的低频放大电路的尺寸,所以在该条件下的电路是集总参数电路。

再以计算机电路中的一个集成单片来说,其中可能有成千上万个电子器件。如果集成片的尺寸为 $0.5\text{ cm} \times 0.5\text{ cm}$,工作频率为 100 MHz ,则相应的波长 $\lambda = 3\text{ m}$,这时电路的尺寸也远小于信号的波长,因而该集成片也可以被视为集总参数电路。

在微波($\lambda < 1\text{ m}$)电路中,如电视天线、雷达天线和通信卫星天线等,它们的工作波长一般与电路的尺寸可以比拟,这些电路上的电压或电流不但是时间的函数,而且还是位置的函数。这类电路就是分布参数电路。

如通信卫星天线,其直径通常在几十米以上。若工作频率为 $f = 30\text{ GHz}$,则相应的波长 $\lambda = 10\text{ cm}$ 。显然,这类天线或不太长的传输线都属于分布参数电路。

2. 线性电路与非线性电路

若描述电路特征的所有方程都是线性代数方程或线性微积分方程,则这类电路就是线性电路(linear circuit),否则就是非线性电路(nonlinear circuit)。在奥妙无穷的大千世界中,非线性运动是最本质、最普遍的运动形式。因此,非线性电路在工程中应用更为普遍,线性电路仅是非线性电路的近似模型。但线性电路的理论却是最重要的基础,否则就无法研究非线性电路或更复杂的系统了。

3. 时不变电路与时变电路

时不变电路(time-invariant circuit)又称非时变电路。它是指组成电路或系统的元件参数值不随时间变化,因而描述这类电路的方程是常系数的代数方程或常系数的微积分方程。相应地,由变系数的代数方程或微积分方程描述的电路,则称为时变电路(time-varying circuit)。实际中,时变电路非常普遍,但时不变电路是最基本的电路模型,是研究时变电路的基础。

工程上,人们最关心的是电路的分析和设计问题。为了弄清它的电性能,可以用仪表测量,也可以进行理论分析。不过对于较复杂的电路,目前一般采用计算机辅助分析(Computer Aided Analysis, CAA)方法;对于电路的设计,通常是采用计算机辅助设计(Computer Aided Design, CAD)方法。

1.2.2 电路模型

工程中运行的实际电路通常由多种电气元件和器件按一定方式连接而成。任何实际电路在运行过程中的表现都相当复杂。原因是,人们所应用的实际器件,如电阻器、电容器、电感线圈、晶体管、变压器、运算放大器和电源设备等,在实际电流、电压和环境条件下的性能复杂多变。比如,电阻器中电流变化时,周围就伴随着电磁场的变化;电容器中不但储存电场能量,还经常要消耗能量,器件内部经常伴有热效应、化学效应和机械效应等。要在数学上精确描述这些现象相当困难。为了用数学的方法从理论上判断电路的主要性能,必须将组成实际电路的电子器件在一定条件下按其主要性质加以理想化,从而得到一系列理想化元件,如电阻元件、电容元件和电感元件等。这些理想元件称为实际器件的模型(model),它们都用严格的数学关系给予定义,这样就便于用电路方程确切地分析其电性能。通常所说的电路分析,就是对由理想元件组成的电路模型进行分析。虽然分析结果仅是实际电路的近似值,但它是判断实际系统电性能和指导电路设计的重要依据。

需要指出的是,模型的概念不仅在电路理论中应用,在其他科学领域也都利用模型来分析具体事物。可以说,一切科学理论都建立在模型基础之上,没有模型就没有科学分析。经

典力学中质点和刚体的概念,就是研究机械运动的理想模型。广义地说,所谓模型,就是任何实体(形式、过程、概念、自然、社会等)的理想化表示。它是对实体的主要性能和变化规律的一种定量抽象。模型一旦正确地建立起来,它就能更普遍、更深刻地描述实体的主要特征。在不同条件下,逐步地改善模型,就能逐步精确地表达实体。

图 1-1(a)是手电筒及其模型图,图(b)是马可尼的无线电发送装置原理图及其电路模型。

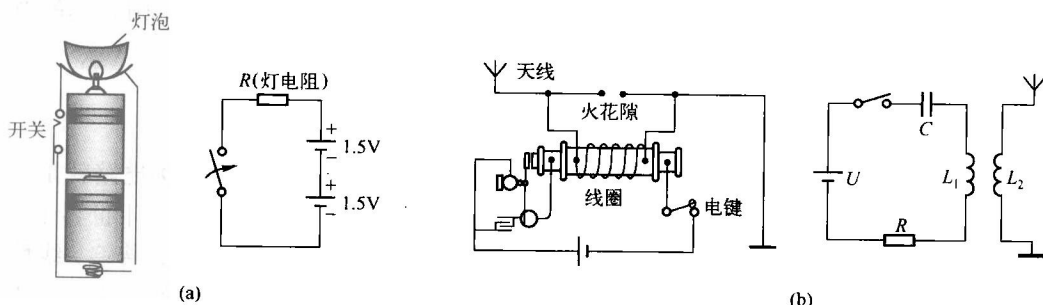


图 1-1 电路模型的示意图

电路模型图中,每一个元件称为一条支路(branch),两条及两条以上支路的连接点称为节点(node)^①。如图 1-2 所示电路中,共有 5 条支路,有 A、B、C、D 4 个节点。电路图中,由若干条支路组成的闭合路径称为回路(loop)。例如,在图 1-2 中,共有 3 个回路,它们是元件 R_1 、 R_2 和电源 U 组成的回路, R_2 、 L 和 C 组成的回路,以及 R_1 、 L 、 C 和电源 U 组成的回路。在以上三个回路中,前两个回路又称为网孔(mesh)。而 R_1 、 L 、 C 、 U 所构成的回路不是网孔,因为其中还有支路 R_2 。

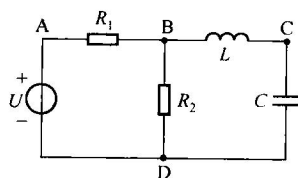


图 1-2 电路模型示例

1.2.3 电路分析课程的任务

为了进行理论分析,实际电气系统必须首先模型化。电路分析的任务是对给定的电路模型和输入信号研究电路某处的输出信号。输入信号也称为激励(excitation),输出信号也称为响应(response)。本书将以线性电路为重点,在时间域和频率域中研究信号通过电路的基本概念和基本规律,讨论电路自身的重要特性,讲述分析电路的基本方法。因此,电路分析是研究电路理论、电路性能和应用技术的重要基础。

与电路分析紧密相关的另一分支是电路的综合与设计。分析以综合为目的,综合以分析为基础。

“电路分析”课程是以集总参数线性时不变的电阻电路和动态电路为主要对象,而建立的基本理论、基本概念和基本分析方法。所应用的输入信号主要是直流、正弦交流、指数信号、阶跃信号和冲激信号,进而研究电路在这些输入信号作用下电路响应(电流或电压)的变化规律。

^① 有时为了简便,也可定义一个元件或多个元件的串联为一条支路,三条或更多条支路连接的点称为节点。这样可减少电路的支路数和节点数。

在进行电路分析时,读者首先要明确电路的性质和条件,弄清电路中哪些是已知的,哪些是待求的;其次在多个解决方法中选择一个合适的方法,以便更简捷更有效;最后是发挥创造性,对于问题的分析结果,要善于思考,理解其本质,并试图找出更有一般意义的结论,以便移植应用于其他类似的领域。

1.3 电路的基本物理量

1.3.1 电流与电压

在电路理论中,电流 $i(t)$ 、电压 $u(t)$ 、电荷 $q(t)$ 和磁通 $\Phi(t)$ 是四个基本的物理变量。以此为基础,又经常用功率 $p(t)$ 和能量 $W(t)$ 来反映电路的功能传递情况。这里分别加以介绍。

1. 电荷与电流

大家知道,带电粒子的规则移动形成电流。电流的大小或强弱,取决于导体中电荷量的变化。通常,把单位时间内通过导体横截面的电荷量定义为电流 $i(t)$,即

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

式中,若电荷量的单位为库[仑](C),时间的单位为秒(s),则电流的单位为安[培](A)。习惯上把正电荷运动的方向规定为电流的方向。

相应地,若已知电流 $i(t)$,则在 t 时刻,通过导体的总电荷为

$$q(t) = \int_{-\infty}^t i(x) dx \quad (1-2)$$

若电流的数值和方向均不随时间变化,则称为恒定电流或直流;若电流的数值和方向随时间变化,则称为时变电流。上式中积分变量写为 x 是为了区别积分上限 t 。

在复杂电路中,某一支路的电流真实方向有时难以确定。为了方便,引入电流参考方向的概念。即在分析电路之前,先任意假设各支路电流的方向,这个方向称为参考方向。依据这些假设,若求解的电流为正值,说明实际方向与参考方向一致;电流为负值,说明实际方向与所标的参考方向相反。如图 1-3 所示,若 $i_1 = 1\text{ A}$,说明标示的参考方向就是 i_1 的实际方向;若 $i_2 = -2\text{ A}$,说明 i_2 的实际方向与所标的参考方向相反。若电路中不标出参考方向,则电流的正、负毫无意义。今后如无说明,一律使用参考方向。

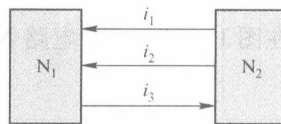


图 1-3 电流的参考方向

2. 电压与磁通

电路中两点间的电压又称为该两点的电位差。从能量的观点来说,将单位正电荷从 a 点移动到 b 点其能量的得失量定义为这两点间的电压 $u(t)$,即

$$u(t) = \frac{dW}{dq}$$

式中,若能量的单位为焦[耳](J),电荷量的单位为库[仑](C),则电压的单位为伏[特](V)。