



普通高等教育“十五”国家级规划教材

ELECTRIC CIRCUIT ANALYSIS

电路分析

● 吴锡龙



高等教育出版社

普通高等教育“十五”国家级规划教材



电 路 分 析

吴 锡 龙

高等教育出版社

内 容 提 要

本书是普通高等教育“十五”国家级规划教材,着重讲述电路分析的基本方法。内容除包含“电路分析”课程教学的基本要求外,适当地作了加深拓宽。体系与内容均较新颖。

全书共分八章:分析的基础、系统分析法、时域分析法、相量法、复频域分析法、零极点法、网络参数分析法和图解分析法。配合正文内容有适量的例题,各章末有小结和习题。教材配有助教助学的计算机辅助教学课件,有利于在教学的各个环节中使用计算机辅助教学手段。

本书为大学本科电类各专业“电路分析”课程的教材,也可供有关科技人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电路分析 / 吴锡龙. —北京: 高等教育出版社,
2004.6
ISBN 7-04-013788-7

I. 电... II. 吴... 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(2004)第 010484 号

策划编辑 刘激扬 责任编辑 曲文利 责任绘图 杜晓丹
版式设计 胡志萍 责任校对 朱惠芳 责任印制 孔 源

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-64054588
社 址	北京市西城区德外大街 4 号	免费咨询	800-810-0598
邮政编码	100011	网 址	http://www.hep.edu.cn
总 机	010-82028899		http://www.hep.com.cn

经 销 新华书店北京发行所
印 刷 河北新华印刷一厂

开 本	787×960 1/16	版 次	2004 年 6 月第 1 版
印 张	30.5	印 次	2004 年 6 月第 1 次印刷
字 数	570 000	定 价	34.70 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

前 言

20世纪60年代以来,计算机的应用使“电路理论”课程发生了很大的变化,经典的电路理论虽然有它坚实的理论基础和完整的体系结构,但它与解算工程实际电路问题之间尚存在一条鸿沟。近代的电路理论引入了电路模型、网络拓扑和计算机辅助分析后,应用通用的电路分析软件,就能方便快速地对节点数较多的实际电路进行直流、频域、时域、非线性和灵敏度等各种分析,从而填补了这条鸿沟。因此到了今天,随着课程体系、教学内容和教材的不断更新,在以下方面的认识应该同步跟上。

1. “电路理论”遵循的是“简单—复杂—简单”的发展、上升规律。为了求解电路的响应,从用欧姆定律、基尔霍夫定律解算简单电路,发展到用网络参数、卷积和各种变换解算较为复杂的电路问题。如今大量的计算工作可由计算机代劳,使经典电路理论中部分内容和方法的重要性有所下降,对不同层次的教学对象,完全可以进行有区别的删减。删繁就简正是体现了电路理论发展的规律。

2. 进入近代电路理论后,可以用新的观点来处理经典的内容,达到推陈出新的效果,而不应将传统的内容全部束之高阁。可以用对偶的观点来讲述各种串联和并联的电路问题,达到事半功倍的效果;也可以用求解变量从多到少,再从少到多的辩证发展观点来讲述从全部支路电压、电流作求解变量到支路电流法、节点电压法,再到改进节点法和稀疏表格法,达到将各种系统分析方法融会贯通的效果;还可以用二端口网络起变换作用的观点来讲述二端口网络的参数以及理想变压器、回转器、负阻抗变换器,达到树立学生创新意识的效果。

3. 大学的教学已经变“专业教学”为“工程技术科学基础教学”,“电路理论”已成为电类学生共同所需的知识大平台中的一部分。因此教师在组织教学内容时,应该考虑教会学生掌握本课程的基本结构——两类约束(元件约束、结构约束)和三种方法(叠加、分解、变换),而不必顾虑少讲了哪种具体的内容和计算方法,因为前者才是学生今后进一步从事科学研究和分析解决实际问题所需的知识和能力。

4. 21世纪是信息时代,学生获取知识可以通过多种媒体和方式,而不再局限于课堂上。因而教师不能再有“以我为主”的思想,而应该多为学生提供各类学习资料(参考书、CAI课件等),并创造一种学习环境(讨论、实验、电路分析软件的使用、制作竞赛等),让学生成为学习的主体。

基于以上认识,编者再次将长期从事“电路分析”课程教学的讲稿整理,修

订成本教材,期望学生通过本课程的学习,不仅要学懂电路的基本理论,学会对一些电路进行分析计算,更为重要的是要提高分析和解决问题的能力。在电路理论的入门阶段,应该也有可能使学生初步领略进行科学研究的最基本、最一般的方法。为了适应这一需要,对本门课程的内容和体系作了改革尝试,着重讲述电路分析的基本方法。按分析方法,将内容划分为八章,希望能取得较好的教学效果。各章的主要内容和处理方法是:

第一章为分析的基础,提出本课程的任务,介绍了分析和研究电路问题所采用的方法。与普通物理学相对照,指出了本课程的理论依据、假设和基本变量。与化学相对照,指出了组成电路的最基本单元是“元件”——实际装置的理想模型。并说明由电荷守恒和能量守恒定理导出的基尔霍夫电流定律(KCL)、基尔霍夫电压定律(KVL)和元件的电压、电流关系(VCR)是建立电路方程的基本依据。

这一章中介绍了电阻、电压源、电流源和受控源等元件,初步建立了等效和匹配的概念,说明了“线性”的含义。作为这一章的结束,介绍了戴维宁定理和诺顿定理,因为它们的内容、证明和应用涉及这一章的全部内容。

第二章为系统分析法,首先介绍图论的基础知识,并应用图论的方法,寻求用一组最少数目的求解变量,系统地建立电路方程的方法——网孔法、回路法、节点法,以便简捷地建立和求解含变量数目较多的复杂网络。从网孔法和节点法的对照,指出了电路的一个重要性质——对偶性。

作为计算机辅助分析(CAA)和辅助设计(CAD)的基础,介绍了应用计算机求解电路问题的思路,并指出最少的变量数目虽然对手工解算十分有利,但应用计算机之后,随着计算技术(如稀疏矩阵技术)的发展,可以不必墨守这一成规,而以全部支路电流、电压(甚至包括 $n-1$ 个节点电压)为变量的表格法,虽然变量数目较多,但用计算机求解时,计算时间反而比节点法节省。

作为一章的结束,应用图论的知识证明了电路普遍适用的一个基本定律——特勒根定律。

第三章为时域分析法,开始引入储能元件——电容和电感,并将物理学中状态的概念用到含储能元件的电路中来,指出电感的电流(或磁通)和电容的电压(或电荷)可以选作电路问题的状态变量,以它为变量所得的电路方程是一微分方程(或微分方程组)。

本章还建立了完全响应、零输入响应、零状态响应、稳态和瞬态等概念,讨论了电路固有频率与时域响应的对应关系。在这里三要素法——用解纯电阻网络的方法来求解含储能元件的电路,与其说是作为一阶网络响应的求法之一,还不如说是复习第一、二章的内容,以起到后面复习前面的作用。

为了对时域分析法有个完整的概念,介绍了阶跃函数和冲激函数,并用以表

示一个任意的电信号,以便求出任意激励下线性时不变网络的时域响应。当引出冲激函数后,不难讨论电路状态的突变,它与先前所遇状态不能突变的情况一起能使学生构成一个完整的概念。

第四章为相量法,介绍一种基本电信号——正弦信号,并引出相量。相量法既是作为求解稳态响应的一种方法,又是作为频域分析法的一个基础来介绍的。

本章还介绍了貌似相同而实质不同的两种二端口元件——耦合电感和理想变压器,以及应用所学的一些模型来近似表示工作在正弦稳态时的各种实际元件。讨论了用相量法求解含上述元件的复杂电路的解法、正弦稳态电路的功率、负载获得最大功率的条件及三相电路。

作为一章的结束,介绍应用相量法去求解不同频率激励作用下电路的响应,以便和“信号与系统”课程的频域分析法相衔接。

第五章为复频域分析法,是将拉氏变换这一数学工具引用到动态网络响应的求解中,通过与用微分方程求解的方法相比较,让学生体会到“变换”方法的简便,同时了解从元件参数转换成阻抗或转换成复阻抗,都是作了一种变换,即从时域转换到频域或复频域,使原本要用微分方程求解的问题变成只需代数方程就可以解决。

第六章为零极点法,介绍当解出电路的稳态响应后,如何进一步求得网络函数,并确定零、极点。由网络函数或零点极点分布图,都能绘出电路的幅频特性曲线和相频特性曲线,从而直观地了解该电路的特性。

通过对一阶网络的分析,找出一阶低通、高通和全通网络的网络函数和零点极点分布的规律。通过 LC 网络的分析,着重讨论了串、并联谐振电路的带通特性,引出了品质因数 Q 、谐振频率 ω_0 、特性阻抗 ρ 三个副参数,指出 LC 电路工作于低频时元件体积太大且不利于集成,由此而转入对 RC 网络的讨论,并总结出二阶低通、高通、带通、带阻和全通网络的网络函数和零、极点分布的规律。

为了解决无源 RC 网络 Q 值偏低的缺点,引出了应用运放器件的有源 RC 网络,并从网络的零、极点分布判断这些电路可能实现的频率特性,并指出完美无缺是没有的,有源 RC 电路虽然能实现 LC 电路的特性且可以集成化,但它的稳定性较差,元件灵敏度也高,目前这些仍是它不及无源网络的缺点。

第七章为网络参数分析法,在本章中,对二端元件的研究推广到三端和多端元件,并对三端元件以及满足端口条件的四端元件的分析,一并应用二端口网络的方法来处理。

本章在介绍了二端口网络的 Z 、 Y 、 H 、 G 、 A 等参数以及参数的物理意义后指出,它们无非是前一章各种网络函数的组合,从而沟通了这两章的联系。本章还讨论了二端口网络的互易性和对称性,并运用网络的特性阻抗讨论了网络级联中的无反射匹配问题。最后应用本章的方法分析二端口网络可能实现的各种变

换功能,着重介绍了回转器和负阻抗变换器。

第八章为图解分析法,选它作为全书结尾的原因是因为对非线性电路的分析已越来越显得重要,编者认为与其分散在各章讨论,学得不深不透,还不如集中在一章学好一种方法。因为图解法是求解简单非线性问题最直观的方法,学好了这一种分析法,也就容易进一步学习其他方法,如分段线性法和小信号分析法等。

本章中介绍了非线性电阻、电容、电感和忆阻元件,指出忆阻只能是非线性的,并以电阻元件为例讨论了元件串/并联的图解、凸电阻和凹电阻的特性、工作点的图解、驱动点特性图和转移特性图,讨论了工作点的跳变现象和振荡性响应的产生,从而加强了“电路理论”与“电子线路”课程之间的联系。

本书中对所有专用名词,在书后附有中英名词对照索引,以便学生熟悉专业的英语词汇和迅速地查阅书中讲述到的有关名词的全部内容。教材中加阴影的一些公式,编者认为学生应记牢并会熟练运用。为方便教学使用,同时编写了《电路分析教学指导书》(配盘),内容包含主题论述、自我检测、习题演算、动画演示等方面。

编者有幸多年来被聘为国家教育部电工课程教学指导委员会委员,在江泽佳教授、管致中教授、芮坤生教授、郑君里教授、李瀚荪教授、吴大正教授等指导下,参加了《普通高等工业学校电路课程教学基本要求》的制订、电路国家题库和《电路课程计算机辅助教学课件》的研制工作,受益匪浅,也促使我将这些工作中积累的认识和体会,整理到教材之中。书稿完成后承李瀚荪教授仔细地审阅,并提出许多宝贵的意见,编者谨致以衷心的感谢。同时还要感谢高等教育出版社王忠民、楼史进两位编审长期以来对我的关怀。

上海大学张嘉毅副教授多年来与我合作,给予我很大帮助,并承担了《电路课程计算机辅助教学课件》的全部制作工作。编者之所以能在短时间内完成本书的整理,与郭赛男同志的内助是分不开的。

限于编者水平,书中难免存在错误和不妥之处,恳切希望广大读者多赐指教。

吴锡龙

2003年6月

目 录

绪 论	1
第一章 分析的基础	5
1.1 研究对象和方法	5
1.2 公理、假设及基本变量	8
1.3 器件的建模	12
1.4 两类约束	21
1.5 电路的等效化简	24
1.6 匹配的概念	31
1.7 受控源	33
1.8 线性和叠加定理	39
1.9 戴维宁定理和诺顿定理	42
小结	47
习题一	48
第二章 系统分析法	62
2.1 图论的基础知识	62
2.2 求解变量的选择	69
2.3 回路法和网孔法	70
2.4 节点法	75
2.5 改进节点法和稀疏表格法	80
2.6 对偶性	84
2.7 解的存在与惟一性	87
2.8 特勒根定律	90
小结	93
习题二	95
第三章 时域分析法	107
3.1 电容元件和电感元件	107
3.2 电路的状态和状态变量	113
3.3 低阶网络的分析方法	117
3.4 一阶网络的三要素法	132
3.5 阶跃函数和冲激函数	139
3.6 电路状态的跃变	144
3.7 任意激励的时域响应	149

小结	155
习题三	156
第四章 相量法	168
4.1 正弦信号及其表示方法	168
4.2 时域模型变换成相量模型	178
4.3 阻抗、导纳及等效电路	186
4.4 耦合电感与理想变压器	190
4.5 实际元件在正弦稳态时的模型	201
4.6 复杂电路稳态响应的求解	207
4.7 正弦稳态电路的功率	212
4.8 非正弦交流电的计算	222
4.9 三相交流电路的分析	227
小结	231
习题四	234
第五章 复频域分析法	247
5.1 从傅氏变换到拉氏变换	248
5.2 常用信号的拉氏变换	252
5.3 两类约束关系的 s 域形式	255
5.4 用拉氏变换法分析电路	258
小结	265
习题五	266
第六章 零极点法	272
6.1 网络函数和频率特性	273
6.2 零极点法	281
6.3 LC 电路的频率特性	286
6.4 LC 谐振电路	294
6.5 RC 电路的频率特性	308
6.6 运算放大器的电路模型	314
6.7 有源 RC 电路的频率特性	320
6.8 稳定性和灵敏度	325
小结	328
习题六	330
第七章 网络参数分析法	340
7.1 二端口网络的矩阵表示	340
7.2 参数的测定和物理意义	345
7.3 二端口网络的互易性和对称性	351
7.4 用网络参数分析电路	356
7.5 二端口网络的特性阻抗和传输常数	365

7.6 二端口网络实现各种变换功能	373
7.7 回转器和负阻抗变换器	379
小结	386
习题七	388
第八章 图解分析法	397
8.1 非线性元件	397
8.2 非线性电阻的串并联	402
8.3 电路工作点的图解	408
8.4 驱动点特性图	416
8.5 转移特性图	422
8.6 小信号分析和分段线性化	426
小结	434
习题八	434
全书总结	445
参考书目	448
中英名词对照索引	449
部分习题答案	456

绪 论

电路理论是当代电子科学技术的重要理论基础之一。在经历了一个多世纪的漫长道路以后,已经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。

人类对电磁现象的认识始于对静电、静磁现象的观察。但是,长期以来,电与磁的应用尚属凤毛麟角。自从1800年法国物理学家伏特发明了伏打电池,从而获得了持续的电流,并形成了电路,电磁现象才开始付诸实用。

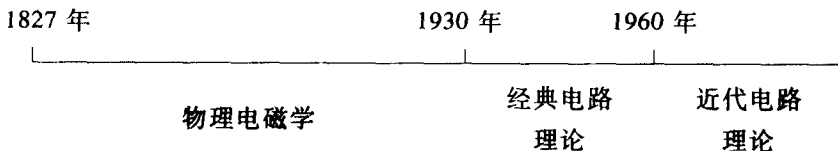
1827年德国物理学家欧姆提出了欧姆定律,它是最早总结出的电路定理。20年后,1847年电路理论的奠基人基尔霍夫发表了基尔霍夫定律。它是所有电路中电压、电流必须服从的规律。1831年英国学者法拉第和美国人亨利发现了电磁感应现象。当法拉第在做电磁感应现象的实验演示时,有一位贵妇人嘲问所感应的电流甚微有什么用处?法拉第的回答带有哲理性:“夫人,一个新生的婴儿有什么用处?”电磁感应现象的发现导致了发电机和电动机的产生。当时的婴儿现在变成了巨人。

1869年英国物理学家麦克斯韦总结了当时所发现的种种电磁现象的规律,将它表达为麦克斯韦方程组,预言了电磁波的存在,为电路理论奠定了坚实的基础。1876年美国电气工程师贝尔发明了电话,1877年爱迪生发明了白炽灯,从此电磁现象从实验室研究进入工业生产和人们的日常生活之中。

应用的需要导致了大规模发电及输配电的出现和发展。在19世纪末还发生过一场“交、直流之争”。以爱迪生为代表的一方主张应用直流电,而另一方以乔治·西屋为代表,主张应用交流电。直到交流发电机、感应电动机、变压器等发明之后,充分显示了交流制的优点,交流制才得到广泛的应用。恩克斯说:“科学的发展一开始就是由生产决定的。”到20世纪30年代,电力输电线的电压已达到 22×10^4 V,供电范围达几百公里,形成比较复杂的电力网。同时电话和电报的通信距离日益增大,实现了海底电缆跨海通信。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。

从20世纪30年代开始,电路理论已形成为一门独立的学科。建立了各种元器件的电路模型。成功地运用电阻、电容、电感、电压源、电流源等几种理想元件,近似地表征成千上万种实际电气装置。在此期间陆续地发表了叠加定理、戴维宁定理、诺顿定理、置换定理、互易定理等线性电路的重要定理,引入了复数和

拉普拉斯变换等数学工具,解决了正弦稳态和电路瞬态的分析计算和综合设计问题。到20世纪50年代末,电路理论在学术体系上进一步完备,在学术思想上也进一步成熟,这一发展阶段通称为经典电路理论阶段。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和计算机的冲击,电路理论无论在深度和广度方面均得到巨大的发展。因此又称20世纪60年代以后的电路理论为近代电路理论。



二次大战中雷达和近代控制技术的出现,对电气工程师提出了更高的要求,也对电路理论的发展起到了推进作用。1947年肖克利·巴丁及布拉敦共同研究出利用半导体产生电流放大作用的电路,从而诞生了晶体管。随后愈来愈多的各种性能优良、体积日益变小的电子器件逐渐代替真空管,电子技术进入了半导体时代。

1958年发明了集成电路,它将构成电子电路的电阻、电容、二极管、晶体管和导线都制造在一块几平方毫米的半导体芯片上,从而使体积大大缩小。现在集成电路已从含几十个晶体管的小规模集成电路发展到含上百万个晶体管的超大规模集成电路,从而电子技术进入了集成电路时代。

与此同时电子计算机和各类微处理机也历经数代变迁,1947年应用的电子计算机ENIAC,含18 000个电子管,30 t,功耗50 kW。而今日用集成电路制成的同样功能的电子计算机,不到300 g,功耗仅1/2 W。目前,计算机已广泛应用于生产、国防、科研、管理、教育和医疗卫生等领域。

近代电路理论的主要特点之一是吉尔曼(Gmellemin)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力的工具。目前在新的研究课题中正更多地引用泛函、混沌、分形、小波等数学工具以期取得新的突破。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。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。

电路理论的成就推动了生产力的发展,反过来它对电路理论又提出了一系列新的课题,如新器件的建模、0.3 μm 的超大规模集成电路、非线性电路、人工神经网络等,正需要进一步研究和解决,正是这个因素促使电路理论得到不断发

展。电路理论的研究方法和原理今天已推广应用到系统的研究中,“电路与系统”已成为不可分割的新学科体系。电路理论作为这一学科的尖兵,正活跃在信息传输、自动控制、图像处理、计算技术、电力传输、生物医学等工程领域,它已经成为一门具有完整体系的欣欣向荣的学科。

集成电路是微电子技术的产物,它将各种元器件集成在半导体芯片上,相比一般分立元件的电路具有成本低、体积小、性能优、可靠性强、耗电省等主要优点。集成电路现在已进入社会各个领域和家庭生活之中,几乎到处都能见到集成电路的踪迹。集成电路也成为发展计算机、现代通信和现代控制技术的重要物质基础。在我国,微电子工业是一个新兴工业,特别是涉及集成电路制造的微电子工业,还处在发展阶段,离发达国家的水平有一定的差距,发展我国的微电子工业正是当务之急。大规模和超大规模集成电路的发展和计算机的应用,带来了一种新的经济创造力,已经形成当代一项崭新的大工业生产,历史上也许还没有一项工业生产能影响和牵动着如此众多的产业部门。

从历史上看,18世纪中叶蒸汽机和纺织机的发明,使人类进入大工业生产,引起了第一次工业革命。19世纪中叶电力传输和电力机械的应用以及汽车的发明和铁路的开发形成了第二次工业革命。20世纪中叶原子能、半导体、航天、化学工业的开发以及控制、通信工程的进展引起了第三次工业革命。在20世纪90年代,大规模、超大规模集成电路和计算机技术的开发,以及能源、新材料、纳米技术和生物遗传工程的发展正在引起一次新的技术革命和工业革命。大力发展微电子工业和计算机技术是振兴我国经济的必由之路。

电路理论是电工和电子科学技术的主要理论基础,是一门研究电路分析和网络综合与设计基本规律的基础工程学科。所谓电路分析是在电路给定、参数已知的条件下,通过求解电路中的电压、电流而了解电网络具有的特性;而网络综合是在给定电路技术指标的情况下,设计出电路并确定元件参数,使电路的性能符合设计要求。因此电路分析是电路理论中最基本的部分,是学习电路理论的入门课程,被列为电类各专业共同需要的技术基础课。

通过本课程的学习,使学生掌握电路的基本理论、分析计算的基本方法和进行实验的初步技能。其教学内容已作了推陈出新,融合了相当部分的近代电路理论的内容,如网络图论、含受控源电路的分析方法、适合计算机解算的方法等。它也为后续课程准备必要的电路知识,是联系所学基本知识和今后将要学习和从事的专业之间的第一座桥梁。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。

由于电路理论起源于物理,因此在学习物理时所积累的经验和方法,现在都将行之有效。无论自学或听课时,应在理解的基础上,用自己的语言做好笔记。这对记忆是很有帮助的。对于电路定理、概念和公式的适用范围尤其应注意,不

要混淆。电路课程理论性强、难度较大,因此不能以听懂讲课而满足,只有反复思考,多问几个为什么,才能初步领悟。在演算习题或将所学理论联系实际时,还会出现新的问题,通过钻研而得到解决,这才算真正懂得。

在掌握实验技术及上机解题方面:

- (1) 注意在实验中培养基本技能即实验的基本功。
- (2) 实验前充分预习,学会正确接线和按电路图查线。
- (3) 做实验时对观察到的现象、数据要能分析,注意其合理性。
- (4) 能熟练应用计算器解算习题。
- (5) 有条件情况下要能应用计算机和已有程序解决比较繁复的运算和曲线的绘制。

总之,在学习本课程时要始终注意对学习方法、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与训练。

电路理论已走过了一百多年的发展历程。无数的科学家和工程技术人员为之贡献了毕生的精力,才取得今天光辉的成就。如今电路的元器件变得越来越微小,而电路的功能却越来越奇妙。电路课程正引导着大家进入这一重要的学科领域,它涉及电力、电子、通信、控制、测量、计算机、自动化等方面,都是我国目前正处于发展和新兴的技术领域,蕴藏着巨大的应用潜力和经济创造力。

第一章 分析的基础

学习电路分析主要是掌握电路的基本规律及其计算方法,从而分析并了解典型电路的特性,为今后的实际工作做好理论准备。但是,书本中所能学到的电路知识毕竟是有限的,而今后实际工作中可能遇到的问题则是千变万化、层出不穷的。因此,如果能掌握一些分析问题的方法将会终生受益,解决实际问题时就能得心应手,应付自如。本章就是从介绍最一般的分析方法入手,建立实际装置的物理模型,遵照电路的基本规律建立其数学方程,从而引出以后各章的学习内容。因此,本章实际上是全书的基础。

1.1 研究对象和方法

电路理论是电类各专业的一门重要的基础理论,它包括分析和综合两个方面。电路分析的任务是由已知的电路结构和元件参数,通过计算求得电路的特性。而网络*综合是根据所要求的电路性能来设计电路的结构,并确定元件的参数。显然电路分析是学习电路理论的入门阶段。

就电路分析而言,经典分析法往往要借助于一些并非普遍适用的解题技巧,所能计算的电路远不及现代分析法计算的规模大和速度快。但是,经典分析法能为初学者提供清楚的物理概念,至今仍受到足够的重视,所以掌握经典的和现代的分析方法都是十分必要的。学习经典分析法是为了能阐明电路中物理现象的本质,并用以求解一些规模不大的电路问题;而学习现代分析法是为了能应用计算机迅速地求得电路问题的解答。两者应该是相辅相成而不可偏废的。

一、模型化

在分析或研究一个实际装置时,常采用模型化的方法,先构造出能反映该实际装置最主要物理本质的模型,使问题得到简化,然后建立一组相应的数学方程,以使分析定量化,求解所得的数学方程,就不难得到对该实际装置分析研究的结果。例如在分析车轮周长 S 与直径 D 的关系时,可以将车轮抽象为一个圆,如图1-1(a)所示。则 S 与 D 的关系可用数学表达式 $S = \pi D$ 表示。与此相仿,图1-1(b)所示是白炽灯的物理模型(即电阻)和数学方程(即欧姆定律)**。

* “网络”又称为“电路”。

** 德国 G. 欧姆在 1825 年提出。

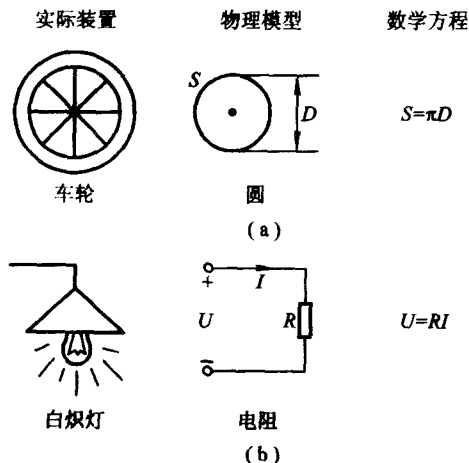


图 1-1 实际装置的模型化

由此可知,电路分析研究的对象,已不是平时能看得见和摸得着的一些实际装置,如电阻器、干电池和晶体管等,而是经过抽象所得的电阻、电压源和受控源等理想模型,以及由它们相互连接所构成的各种电路。模型只能近似地描述所研究的实际装置。如在图 1-1(b)的物理模型中,导线是理想导体,电阻为零,而实际装置中的电线是具有电阻的,仅由于它的电阻值远比灯丝的电阻小而可以忽略不计。由此可知,从模型出发所得的计算结果,只能与实际装置中所发生的真实情况相近似。模型取得越精确,所得理论分析的结果与实际越符合,但是建立方程和进行求解的工作量都会相应地增加,因此应根据需要和可能来权衡。

由实际装置抽象所得的模型,再根据电路的一些基本定律和定理建立起一组数学方程,求解所得的方程组以取得分析的结果,这就是分析电路问题采用的方法。

二、激励和响应

分析电路的目的是要了解电路的特性,常用的一种方法可通过下例说明。当想要了解一只瓷碗有无破损时,可以用一硬物轻轻敲击碗的边缘,听瓷碗发出的声响如何。这里,敲击可认为是施加的一种激励,而碗发出的声响是一种响应,从碗发出声响的不同,就可以得知瓷碗是否有肉眼看不见的破损存在。要了解一个电路的特性时所用的方法也十分相似,可以在电路的输入端施加一种激励,这时激励应为一种电信号——随时间变化的各种电压或电流,而观察电路中某一部分的响应(也是随时间变化的电压或电流)。当得知网络对特定激励所产生的响应后,也就掌握了这一网络的特性。例如,若网络 N 的激励和响应波形为已知,如图 1-2 所示,就可知道网络 N 对输入信号具有衰减作用,是一个

衰减器。

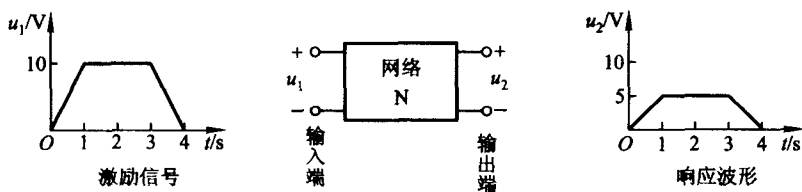


图 1-2 由激励和响应判断网络的特性

三、时域分析与频域分析

对网络的输入端施加激励,测量或计算其输出响应,这是了解电路特性最常用的方法。但是可施加的激励是各种各样的,又给分析工作带来了困难,这就引起电路工作者对各种电信号进行分析和研究。研究的结果表明,正如一个复杂的运动可以分解成一系列简单运动的合成一样,一个复杂的电信号也是可以分解的。图 1-3(a)表示一个复杂的电信号,可以用一系列幅度不同且相继延时的阶跃电压的叠加来逼近。图 1-3(b)表示同一复杂电信号,可以用一系列幅度、频率不同的正弦电压的叠加来逼近。

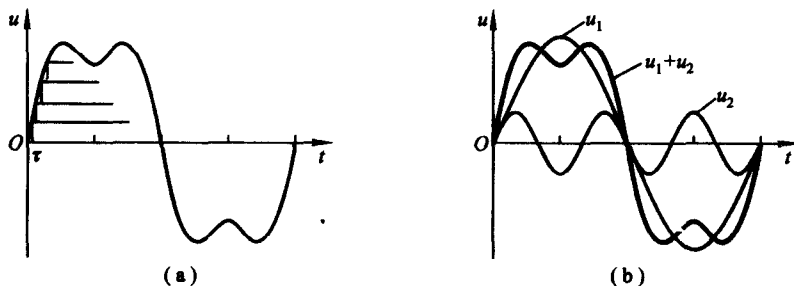


图 1-3 电信号的不同分解方式

至此,问题又得到简化,即只要了解电路对阶跃信号和正弦信号这两种典型电信号激励时的响应,就足以了解电路的特性了,同时也不难用叠加的方法*去求得它对任意复杂电信号激励下的响应。因此本书中所采用的激励信号主要是阶跃(直流)信号和正弦信号两大类。

当激励被分解为一系列阶跃信号时,激励和响应都需要表示为时间 t 的函数,因此称为时域分析法;而激励被分解为一系列正弦信号时,激励和响应通常表示为频率 ω 的函数,因而称为频域分析法。例如,本书第三章就是时域分析法,从它的计算结果可以方便地绘出响应(电压或电流)幅度随时间变化的曲

* 这时电路应属线性时不变电路,详见 1.3 节。