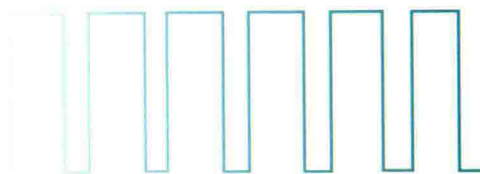
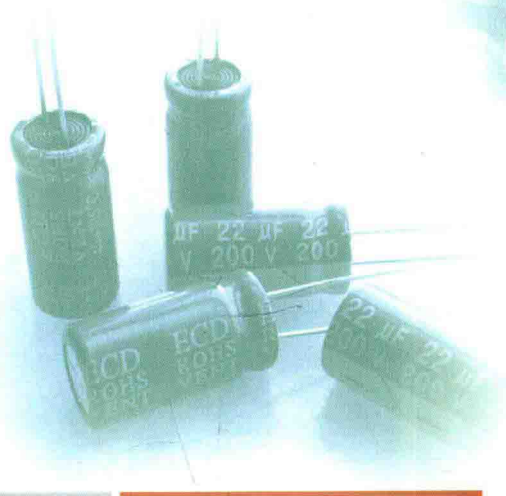




普通高等教育创新型人才培养规划教材



电路分析 (第2版)

DIANLU FENXI

主 编 于永进 李秋潭

副主编 凌 艳

配有
课件



北京航空航天大学出版社
BEIHANG UNIVERSITY PRESS



普通高等教育创新型人才培养规划教材

电路分析

(第2版)

主 编 于永进 李秋潭

副主编 凌 艳

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

本书共分7章:电路分析的基础知识,线性电路分析的基本方法,正弦稳态交流电路的分析,互感耦合电路,非正弦周期激励电路的分析,动态电路的时域分析,动态电路的复频域分析。各章均配有经典例题和习题,书后附有习题答案。

本书适用于应用型本科院校计算机、电子、通信、机电、控制等专业,也可作为自学考试和电子技术工程人员的自学用书,高职高专学校使用本书时可根据具体情况适当删减内容或增加学时。本教材总学时为48~64(不含实验)。书中标有“*”号的是选学内容,在实际教学中,可根据情况取舍。

本书配有课件供任课教师参考,有需要者可发邮件至 goodtextbook@126.com 或致电 010-82317036 申请索取。

图书在版编目(CIP)数据

电路分析 / 于永进,李秋潭主编. —2版. —北京:
北京航空航天大学出版社, 2017.1
ISBN 978-7-5124-2327-5

I. ①电… II. ①于… ②李… 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(2016)第 307979 号

版权所有,侵权必究。

电路分析(第2版)

主 编 于永进 李秋潭
副主编 凌 艳
责任编辑 董 瑞

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路37号(邮编100191) <http://www.buaapress.com.cn>

发行部电话:(010)82317024 传真:(010)82328026

读者信箱:goodtextbook@126.com 邮购电话:(010)82316936

北京兴华昌盛印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:787×1092 1/16 印张:14.25 字数:365千字

2017年2月第2版 2017年2月第1次印刷 印数:3000册

ISBN 978-7-5124-2327-5 定价:29.00元

若本书有倒页、脱页、缺页等印装质量问题,请与本社发行部联系调换。联系电话:(010)82317024

第2版前言

《电路分析》一书自2007年出版以来,被许多院校选为教材,得到了广大读者的关心。但是,由于高等院校尤其是应用型本科院校人才培养目标的定位及教学改革不断深化,使得原教材中的有些内容需要更新,本书在初版基础上进行了修订,使之更加符合当前高等院校相关专业对电路分析课程教学的需要。

本书的修订,既要保持第一版教材的诸多特点及完整体系,又要面向新世纪的发展;既要符合本门课程的基本要求,又要适当引进电路信息系统中的新器件、新技术、新方法;既要使学生掌握基础知识,又要培养他们的定性分析能力、综合应用能力和创新能力;既要有利于教师对教材的灵活取舍,又要有利于学生对教材内容的自主学习和思考。为此,提出了如下总体思路:精选内容,推陈出新;讲清基本概念、基本电路的工作原理和基本分析方法;内容由浅入深,通俗易懂,便于自学,力争做到“讲、学、做”统一协调,重点与难点采取阐述与比喻相结合、例题与习题相结合、实例与实验相结合。

与第一版教材相比,本书在如下方面做了进一步改进:

(1) 每章前面增加了内容提要,使学生在学新的内容前做到心中有数,有的放矢。

(2) 第1章中扩充了“电路理论及其发展”的内容,旨在让学生对电路分析的内容体系、主要概念、电路理论的形成及其在日常生活中的应用有个大致的了解,由此增强学生的学习目标性、激发学生的学习兴趣和学习自主性。

(3) 扩大了习题的种类与题量。电路分析课程概念多,内容琐碎,理论分析抽象难懂,必须加强训练才能更好地掌握基础知识。

(4) 进一步增补了习题参考答案,便于学生更好地掌握所学内容。

(5) 在每一章中有效增加了相关内容。与初版教材相比,本书内容更加细腻,问题探讨更加深入,逻辑关联性更强,理论与实际结合更加紧密,知识体系更加完整。

(6) 删掉初版第8章“二端口网络”,而将这一章内容分散到前面

的相关章节中,这样使得理论与实际应用的结合更加紧密,更加具有针对性,效果也更为突出。

(7) 删掉初版第9章“计算机辅助电路分析”。考虑到当前电子电路的计算机辅助分析软件不断更新和推陈出新,而教材更新相对滞后的实际情况,鼓励学生在教师的引导下,充分利用网络资源,自行学习相关软件。较之这种方式,要比单独用有限一章的篇幅介绍某一种软件的使用效果要好。当然,对于如何才能让学生更好地掌握一种电子电路计算机辅助分析和设计软件,有待于在今后的教学实践中继续探索。

(8) 删掉第10章“实用电工知识简介”,根据本书的编写定位及教材的适用对象,将此部分内容删掉,目的是强化电路分析的基础内容及分析方法。删掉的内容并非不重要,本书的辅助教材《电路与电子技术学习及实践指导》对此部分内容有相关介绍。

本书由于永进担任主编并统筹全稿。其中,山东科技大学的于永进编写了第1章、第2章和第5章,并负责整理习题答案;潍坊学院的李秋潭编写了第3章和第4章;成都航空职业技术学院的凌艳编写了第6章和第7章。此外,参加本书编写的还有张星慧、王俊杰、齐明、管金华、王丽萍、解立明、王立梅。

由于编者水平有限,书中的错误和不妥之处恳请广大读者批评指正。

编 者

2016年8月

前 言

在我国高等教育由精英阶段向大众化阶段转变的历史性过程中,高等教育系统也在重新构建。新老本科高校都在重新审视和调整自己的办学定位,确定新的发展目标和战略。在新的历史条件下,新建本科院校的出路不能是“再版”传统本科模式,而是要在能够满足社会发展需求的“大众化”“应用型”领域寻求发展空间。近年来新成立的本科院校大都以应用型为办学定位,形成了一批占全国本科高校总数近30%的与传统本科院校不同的应用型本科院校。

应用型本科院校就是培养本科层次应用型人才的高等学校,在人才培养上主要是对这类学校的培养目标、规格以及人才类型、层次作出规定。把人才培养目标定位在一线或实际岗位群,使其具有适应高新技术发展及自我学习、提高的能力。所以,应用型本科教育既非宽泛的工程科学教育,亦非狭窄的职业技能培训,而是培养适应工业和工程生产第一线、现实和发展需要的工程应用型、技术应用型人才的教育,是既保证本科人才的基本素质,又具有现代职业技术教育特征的高等教育。

为此,应用型本科教材的编写就要体现和满足它的人才培养模式和培养目标,要充分体现“应用、实用、适用”的特色,适应高等院校培养高层次应用人才的实际需要,致力于培养应用型人才的创新精神和实践能力。

本教材即是围绕以上宗旨进行编写的。参编人员大都是双师型教师,有着丰富的工程实践经验,能够从实用角度出发对问题进行论证和阐述;例题、习题的选取也具有这个特点。总之,本教材具有以下几方面的特点:

(1) 保证基础,加强概念,培养思路。

(2) 精选内容,主次分明,详略得当。

(3) 面向更新,联系实际,理论与实践并重,知识与技能并重。

(4) 问题分析深入浅出,文字叙述通俗易懂,图文并茂,例题精选,便于自学。

(5) 理论知识以够用为目的,重点加强实际应用。例如,在讲解电路定理、定律时,最后都要结合实际,研究电路理论在实际中的应用,探讨其对实践的指导意义。

(6) 为了适应计算机的广泛应用以及 EDA 技术的不断发展,本书在第 9 章编写了计算机辅助电路分析,介绍了目前比较流行的计算机辅助电路分析软件 PSPICE 以及应用该软件进行电路分析的例子。

(7) 在学习完电路基本理论的基础上,在最后一章编写了实用电工知识,以便更好地研究、分析、解决在工作和生活中所遇到的问题。

参加本书编写的人员有:张虹(前言、第 1、2、9、10 章),高寒(第 3、4 章),王维兰(第 7、8 章)和张淑玲(第 5、6 章)。本书由张虹担任主编并统编全稿。此外,参加本书编写的其他人员还有:齐丽丽、于钦庆、刘贞德、王立梅、刘磊、秦书平、陈光军、李耀明、李厚荣、张元国以及周金玲。

为了保证内容的系统性和连续性,我们还编写了另两本系列教材,即《模拟电子技术》和《数字电路与数字逻辑》。连同本教材《电路分析》一起,将成为应用型本科院校计算机、电子、通信等专业非常实用的教学与学习用书。

本书编写过程中,由于时间仓促,加之编者水平有限,若书中有错误和不妥之处,敬请各方面的读者予以批评指正,以便今后不断改进。

编 者

2007 年 3 月

目 录

第 1 章 电路分析的基础知识	1
1.1 电路理论及其发展	1
1.1.1 电路理论概述	1
1.1.2 电路理论的发展	2
1.2 电路和电路模型	3
1.2.1 电 路	3
1.2.2 电路模型	4
1.2.3 计量单位制	5
1.3 电路的基本物理量	6
1.3.1 电 流	6
1.3.2 电 压	7
1.3.3 电功率	10
1.4 电路的基本元件	10
1.4.1 电阻元件	11
1.4.2 电容元件	14
1.4.3 电感元件	19
1.4.4 电源元件	21
1.4.5 受控源	23
1.5 基尔霍夫定律	25
1.5.1 基尔霍夫电流定律	25
1.5.2 基尔霍夫电压定律	27
本章小结	28
习 题 1	28
第 2 章 线性电路分析的基本方法	33
2.1 支路电流分析法	33
2.2 等效变换分析法	36
2.2.1 等效变换	36
2.2.2 无源二端网络的等效变换	37
2.2.3 有源二端网络的等效变换	43
2.3 节点电压分析法	47
2.3.1 节点电压及节点电压方程	47
2.3.2 节点法应用举例	49
2.4 网孔电流分析法	51
2.4.1 网孔电流及网孔电流方程	52



2.4.2 网孔法应用举例	53
2.5 叠加定理	54
2.5.1 叠加定理的基本内容	54
2.5.2 叠加定理的应用	55
2.6 戴维南定理和诺顿定理	57
2.6.1 戴维南定理	57
2.6.2 诺顿定理	59
2.6.3 戴维南-诺顿定理在电路调试中的应用	61
2.7 最大功率传输定理	63
2.8 替代定理	65
本章小结	67
习题2	67
第3章 正弦稳态交流电路的分析	75
3.1 正弦交流电路的基本概念	75
3.1.1 正弦量的瞬时值	75
3.1.2 正弦量的三要素	76
3.1.3 相位差	78
3.1.4 有效值	79
3.2 正弦量的相量表示	80
3.2.1 复数的表示形式及运算规则	80
3.2.2 正弦量的相量表示及相量图	82
3.3 电阻、电感、电容伏安关系的相量形式	83
3.3.1 电阻元件	84
3.3.2 电感元件	84
3.3.3 电容元件	86
3.4 基尔霍夫定律的相量形式	87
3.4.1 基尔霍夫电流定律的相量形式	87
3.4.2 基尔霍夫电压定律的相量形式	88
3.5 复阻抗与复导纳	90
3.5.1 复阻抗	90
3.5.2 复导纳	91
3.5.3 复阻抗的串联与并联	91
3.6 正弦稳态电路的相量分析法	92
3.7 正弦交流电路的功率	97
3.7.1 瞬时功率和平均功率	98
3.7.2 复功率、视在功率和无功功率	99
3.7.3 功率因数的提高	100
3.8 谐振电路	101
3.8.1 RLC 串联谐振电路	102
3.8.2 RLC 并联谐振电路	105



3.9 三相电路	105
3.9.1 对称三相电源	106
3.9.2 三相电源的连接	106
3.9.3 三相电路的计算	109
3.9.4 三相电路的功率	112
本章小结	113
习题 3	114
第 4 章 互感耦合电路	119
4.1 互 感	119
4.1.1 互感现象	119
4.1.2 互感系数与同名端	120
4.1.3 耦合系数	124
4.2 含有互感耦合电路的计算	125
4.2.1 互感线圈的串联与并联	125
4.2.2 去耦等效电路	129
4.2.3 含互感线圈电路的分析	131
4.3 理想变压器	133
本章小结	136
习题 4	137
第 5 章 非正弦周期激励电路的分析	140
5.1 非正弦周期信号	140
5.2 非正弦周期信号的分解	141
5.2.1 非正弦周期信号分解为傅里叶级数	141
5.2.2 对称波形的傅里叶级数	144
5.2.3 非正弦周期波的频谱	144
5.3 非正弦周期信号的最大值、有效值、平均值和平均功率	146
5.3.1 最大值	146
5.3.2 有效值	146
5.3.3 平均值	147
5.3.4 平均功率	148
5.4 非正弦周期激励电路的分析	149
本章小结	153
习题 5	153
第 6 章 动态电路的时域分析	156
6.1 过渡过程及换路定律	156
6.1.1 过渡过程	156
6.1.2 换路定律	157
6.2 一阶 RC 电路的过渡过程	159



6.2.1 RC 电路的零输入响应	159
6.2.2 RC 电路的零状态响应	162
6.3 一阶 RL 电路的过渡过程	165
6.3.1 RL 电路的零输入响应	166
6.3.2 RL 电路的零状态响应	167
6.4 一阶电路的全响应	168
6.4.1 一阶电路的全响应介绍	168
6.4.2 一阶电路的三要素法	169
6.5 阶跃函数与阶跃响应	174
6.5.1 阶跃函数	174
6.5.2 一阶电路的单位阶跃响应	175
6.6 二阶电路分析	177
6.6.1 RLC 串联电路的微分方程及其解	177
6.6.2 非振荡放电过程(过阻尼情况)	178
6.6.3 振荡放电过程(欠阻尼情况)	179
6.6.4 临界阻尼情况	181
6.7 应用举例	182
6.7.1 照相闪光灯装置	182
6.7.2 汽车点火电路	183
本章小结	184
习题 6	184
第 7 章 动态电路的复频域分析	188
7.1 拉普拉斯变换	188
7.1.1 拉普拉斯变换的定义	188
7.1.2 拉普拉斯变换的性质	189
7.2 拉普拉斯逆变换	191
7.2.1 拉普拉斯逆变换的定义	191
7.2.2 拉普拉斯逆变换的部分分式法	192
7.3 复频域中的电路定律与电路模型	195
7.3.1 基尔霍夫定律的复频域表示形式	195
7.3.2 电阻、电感、电容元件的复频域模型	196
7.4 动态电路的复频域分析法	197
* 7.5 传递函数	201
* 7.6 卷积	203
本章小结	206
习题 7	206
部分习题答案	210
参考文献	217

第 1 章 电路分析的基础知识

内容提要

- 电路理论及其发展
- 电路的基本概念
- 电路的基本物理量
- 组成电路的基本元件
- 基尔霍夫定律

1.1 电路理论及其发展

1.1.1 电路理论概述

电、磁互生现象早已被现代人所熟知,它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。早在四千多年前,黄帝利用磁制成了罗盘针。据史料记载,公元前 9 世纪,我国航海家已使用指南针导航了。被世人称为电学之父的英国物理学家吉尔伯特,于 1600 年在他的书中第一次讨论了电与磁。与电、磁理论发展有关的世界著名科学家还有安培、欧姆、伏特、基尔霍夫、戴维南、法拉第、亨利、拉普拉斯、傅里叶、麦克斯韦、赫兹等。其中,为电路理论奠定下坚实基础的是德国物理学家基尔霍夫。1847 年,刚满 23 岁的大学生基尔霍夫发表了划时代的论文《关于研究电流线性分布所得到的方程的解》,文中提出了分析电路的第一定律(电流定律 KCL)和第二定律(电压定律 KVL),同时还确定了网孔回路分析法的原理。后人曾从电磁场理论体系的核心麦克斯韦方程组推导出电路理论体系的核心 KCL 和 KVL,这充分表明了电磁场问题与电路问题之间存在着必然的内在联系和辩证的统一。

电路理论与应用技术的发展为人类驾驭物质世界奠定了重要的理论基础。电路理论是关于电器件的模型建立、电路分析、电路综合及设计等方面的理论。电路理论是物理学、数学和工程技术等多方面成果的融合。物理学,尤其是其中的电磁学为研制各种电路器件提供了原理依据,对各种电路现象作出理论上的阐述;数学中的许多理论在电路理论得到广泛的应用,成为分析、设计电路的重要方法;工程技术的进展不断向电路理论提出新的课题,推动电路理论的发展。作为首门电技术方面的基础课程,本课程为学习电专业的专业基础课打下必要的基础;本书的知识点也是电气电子工程师必备的;学习本课程还有助于培养读者严谨的科学作风、抽象的思维能力、实验研究能力及总结归纳能力等。

电路理论由两个分支构成:**电路分析、电路设计**。电路分析是在给定电路系统的结构和元件参数之后,求解电路输入(激励)与输出(响应)之间的规律;电路设计是在给定电路系统的输入(激励)与输出(响应)之间规律(或技术指标)的基础上,设计出电路系统(包括结构和元件参数)。本书在重点介绍电路分析的同时,也简要讨论电路的设计问题。电路分析必须满足两大



约束规律:拓扑约束(也叫结构约束)规律和元件约束规律。它们是电路分析与计算的基础,但它们又是建立在电荷守恒公理和能量守恒公理的基础之上的。在这些理论基础上,导出了一些重要的电路定理和各种基本分析方法。

电路理论是一门融合理论与工程应用的学科,我们既要学习和掌握它的基本概念、基本理论规律、基本分析方法,又要注重它的工程应用。

1.1.2 电路理论的发展

从发展动力来看,电路理论的早期发展是与长途电话通信密切相关的。随着电力和电信工程的发展,电路理论已开始面向多学科领域,这时不仅要以电路理论为基础去研究复杂的电力网络,同时还要对距离日益增加的越来越复杂的电信网络进行分析、设计与综合。从演变过程看,电路理论最初是属于物理学中电磁学的一个分支,那时仅局限于对实体进行研究,其科学抽象过程是从欧姆定律和基尔霍夫定律出现之后逐渐开始的。从分析方法上看,目前分析电路的方法有三大类,即时域分析、频域分析和拓扑分析。时域分析方法是人们在电路理论的最初阶段就开始使用的方法,其先驱是英国工程师海维西特。频域分析法是由荷兰科学家伯德、法国数学家傅里叶、法国数学家拉普拉斯共同提出并完善的。拓扑分析法其实早已由基尔霍夫和麦克斯韦开创,1847年基尔霍夫就首先使用了“树”来研究电路,只是由于他们当时的论点太深奥或者说超越了时代,致使这种方法在电路分析中的实际应用停滞了近百年。直到20世纪50年代以后,拓扑分析法才广泛应用于电路学科,1961年塞舒和列德写出了第一本图论在电网络中应用的专著。

从电路理论发展进程及其所包含的内容来看,人们常把欧姆(1827年)和基尔霍夫(1847年)的贡献作为这门学科的起点,从这个起点到20世纪50年代的这一段时期被称为“经典电路理论发展阶段”,而把20世纪60年代到70年代这一段时期称为“近代电路理论发展阶段”,20世纪70年代以后的时期被称为“电路与系统理论发展阶段”。

1. 经典电路理论发展阶段

这个阶段大约经历了100年,在这100年中,除了前面提到过的欧姆和基尔霍夫的贡献之外,重要的成果还有:1832年亨利发现自感现象;1843年发明了惠斯登电桥;1853年亥姆霍兹首先使用等效电源定理分析电路,但这个定理直到1883年才由戴维南正式提出并发表,因此后人称其为戴维南定理;1873年麦克斯韦在他的巨著《Treatise on Electricity and Magnetism》(这是电气科学技术史上的第一部专著)中确立了节点分析法原理;1894年斯坦梅茨将复数理论应用于电路计算;1899年肯内利解决了Y- Δ 变换;1904年拉塞尔提出对偶原理;1911年海维赛德提出阻抗概念,从而建立起正弦稳态交流电路的分析方法;1918年福特斯库提出三相对称分量法,同年巴尔的摩提出了电气滤波器概念;1920年瓦格纳发明了实际的滤波器,同年坎贝尔提出了理想变压器概念;1921年布里辛格提出了四端网络及黑箱概念;1924年福斯特提出电抗定理;1926年卡夫穆勒提出了瞬态响应概念;1933年诺顿提出了戴维南定理的对偶形式——诺顿定理;1948年特勒根提出了回转器理论,这一器件后于1964年由施诺依用晶体管首先实现;特勒根还于1952年确立了电路理论中除了KCL和KVL之外的另一个基本定理——特勒根定理。以上这些重要成果基本上组成了经典电路理论的实体。

2. 近代电路理论发展阶段

第二次世界大战后,电力系统、通信系统和控制系统的研究及应用都取得了巨大的进展,



尤其是后两者的进展更为迅速。控制技术和通信技术从实际应用逐步上升为新的理论体系——控制论和信息论。与此同时,半导体电子学和微电子学、数字计算机、激光技术以及核科学和航天技术等新兴尖端技术也以惊人的速度突飞猛进,使得整个电气工程领域从20世纪50年代末期就开始了所谓的“电子革命”和“计算机革命”。所有这些都促使电路理论从20世纪60年代起不得不在内容和概念上进行不断地调整和革新,以适应科学技术“爆炸”的新时代,于是就形成了近代电路理论。

3. 电路与系统理论发展阶段

在近代电路理论向前发展的同时,20世纪60年代至70年代首先在自然科学和技术的领域内形成了严谨而完整的“系统”的概念,接着“系统理论”成为受到普遍重视的研究领域。电路所考虑的是元件的拓扑、参数、电路的物理量以及电路的内在电气结构,而系统所考虑的则是从输入到输出的整体性能及其外在的物理行为。电路理论与系统理论相结合,可以把系统理论的概括性和抽象方法用于电路,使电路理论的研究站得更高些;也可以把电路理论的精确性和计算方法用于各种非电系统,使系统问题的研究更加切实。正是由于电路理论与系统理论在研究问题的科学思想上相互渗透、相互馈递,在研究问题的方法上又相互协调和相互统一这一事实,在20世纪70年代,科学界正式提出了建立概念体系更扩展的“电路与系统”(CAS)学科。这一举动是由学科的内在发展规律所决定的。事实证明,这一结合不仅保持了系统理论与电路理论的根源关系,使电路理论焕发出青春活力,使系统理论进一步得到促进,同时它们互相结合而发挥出来的创造力十分引人注目。

1.2 电路和电路模型

1.2.1 电 路

电路在日常生活、生产和科学研究工作中得到了广泛应用。小到手电筒,大到计算机、通信系统和电力网络,都可以看到各种各样的电路。可以说,只要用电的物体,其内部都含有电路,尽管这些电路的结构各异,特性和功能也不相同,但都建立在一个共同的电路理论基础上。

电路通常按如下几个方面进行分类。其一,集总参数电路和分布参数电路:将实际电路的几何尺寸 d 与其中的工作信号波长 λ 比较,满足 $d \ll \lambda$ 的称为集总参数电路,不满足 $d \ll \lambda$ 的称为分布参数电路,常见的低频放大器属于集总参数电路,微波($\lambda < 1\text{ m}$)电路(如电视天线、雷达天线和通信卫星天线等)属于分布参数电路。本书中将以集总参数电路为研究对象进行讨论。其二,线性电路和非线性电路: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,则称为线性电路,否则就是非线性电路。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,但线性电路理论却是最重要的基础。其三,时不变电路和时变电路:时不变电路中元件参数不随时间变化,描述其电路的方程是常系数的代数方程或常系数的微积分方程,而时变电路是由变系数的代数方程或微积分方程描述的电路。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。

电路的一种功能是实现电能的传输和转换,例如,电力网络将电能从发电厂输送到各个工厂和千家万户,供各种电气设备使用;电路的另一种功能是实现电信号的传输、处理和存储,例如,电视接收天线将接收到的含有声音和图像信息的高频电视信号,通过高频传输线送到电视



机中,这些信号经过选择、变频、放大和检波等处理,恢复出原来的声音和图像信号,在扬声器发出声音并在显像管屏幕上呈现图像。

那么,什么是电路呢?所有的**实际电路**是由电气设备和元器件按照一定的方式连接起来,为电流的流通提供路径的总体,也称网络。在实际电路中,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作用下产生的,因此,电源又称为激励源,简称激励。由激励而在电路中产生的电压和电流称为响应。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。

1.2.2 电路模型

为了便于对实际电路进行分析,通常将实际电路器件理想化(或称模型化),即在一定条件下,突出其主要的电磁性质,忽略其次要因素,将其近似地看做**理想电路元件**,并用规定的图形符号表示。例如,用电阻元件来表征具有消耗电能特征的各种实际元件,同样,在一定条件下,电感线圈忽略其电阻,就可以用电感元件来近似地表示;电容器忽略其漏电,就可以用电容元件近似地表示。此外还有电压源、电流源两种理想电源元件。以上这些理想元件分别可以简称为:电阻、电感、电容和电源,它们都具有两个端钮,称为二端元件。其中,电阻、电感、电容又称无源元件^①。常用的电路元件和符号如表 1.1 所列。

表 1.1 常用电路元件的符号

元件名称	符 号	元件名称	符 号
电池		可变电容	
电压源		无铁芯的电感	
电流源		有铁芯的电感	
电阻		相连接的交叉导线	
可变电阻		不相连接的交叉导线	
电容		开关	

由理想元件组成的电路称为实际电路的电路模型。图 1.1(b)为图 1.1(a)的电路模型。今后如未加特殊说明,所说的电路均指**电路模型**。

以上用理想电路元件或它们的组合模拟实际器件的过程称为建模。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。需要注意的是,在不同的条件下,同一实际器件可能采用不同模型。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

^① 电路中有两类元件:有源元件和无源元件。有源元件能产生或者能控制能量,而无源元件不能,电阻、电容、电感等均为无源元件。电源、集成运算放大器、三极管、场效应管等为有源元件。

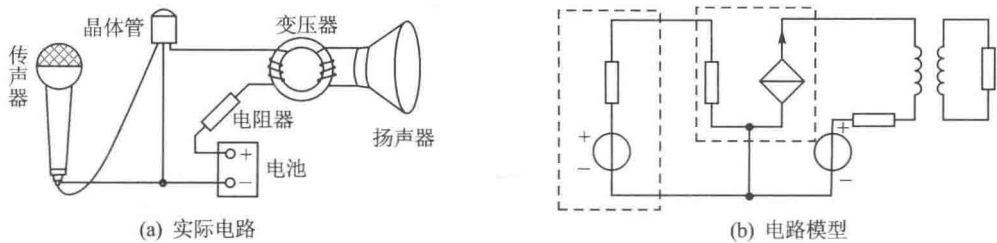


图 1.1 晶体管放大电路

果。所以建模问题需要专门研究,绝不能草率定论。例如图 1.2(a)所示的线圈,在低频交流工作条件下,用一个电阻和电感的串联结构进行模拟,如图 1.2(b)所示;在高频交流工作条件下,则要再并联一个电容来模拟,如图 1.2(c)所示。

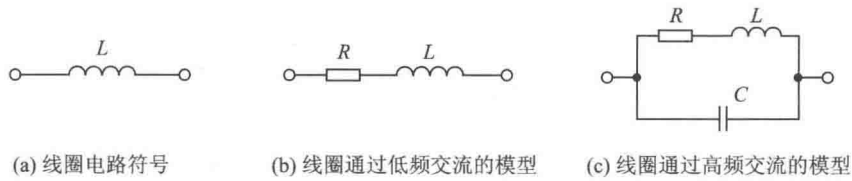


图 1.2 线圈的几种电路模型

1.2.3 计量单位制

计量单位制是一个通用的计量单位的规定,不论国家与地区,只要涉及某个物理量的测量,就要以规定的单位来表示,这样大家都能明白和接受。本书采用的是国际电位制(SI)。国际单位制是在 1960 年国际度量会议上所确定的通用计量单位制。SI 有六个基本单位,表 1.2 所列为这六个基本单位、符号及所表示物理量的名称。由基本单位可导出其他物理量的单位,例如,电荷量的单位是库仑(C), $1\text{ C}=1\text{ A}\cdot\text{s}$;力的单位是牛顿(N), $1\text{ N}=1\text{ kg}\cdot\text{m}/\text{s}^2$ 。有些物理量的导出单位也可以用具有专门名称的 SI 导出单位表示,如功率的单位是瓦特(W), $1\text{ W}=1\text{ J}/\text{s}$;电压的单位是伏特(V), $1\text{ V}=1\text{ W}/\text{A}$ 。以上均可参考国标 GB 3100—86。

表 1.2 国际单位制的六个基本单位

量的名称	单位名称	单位符号
长度	米	m
质量	千克	kg
时间	秒	s
电流	安培	A
热力学温度	开尔文	K
发光强度	坎德拉	cd

国际单位制的一个优点是可用以 10 的幂次方为基础的前缀(或称词头)与基本单位结合起来表示很大或很小的量,表 1.3 所列为国际单位制的前缀及其符号。



表 1.3 国际单位制前缀

所乘的 10 次幂	前 缀	符 号	所乘的 10 次幂	前 缀	符 号
10^{18}	艾	E	10^{-1}	分	d
10^{15}	拍	P	10^{-2}	厘	c
10^{12}	太	T	10^{-3}	毫	m
10^9	吉	G	10^{-6}	微	μ
10^6	兆	M	10^{-9}	纳	n
10^3	千	k	10^{-12}	皮	p
10^2	百	h	10^{-15}	飞	f
10^1	十	da	10^{-18}	阿	a

1.3 电路的基本物理量

在电路理论中,电路的基本物理量有 4 个:电流、电压、电荷和磁通,其中最常用的是电流和电压。电路的基本复合物理量为电功率和电能。电路分析的基本任务是计算电路中的电流、电压和功率。

1.3.1 电 流

电荷的定向运动形成电流。电流的实际方向习惯上指正电荷运动的方向。电流的大小用电流强度来衡量,电流强度指单位时间内通过导体横截面积的电荷量,电流强度简称电流,其数学表达式为

$$i = \frac{dq}{dt} \tag{1.1}$$

其中, i 表示电流强度,单位是安[培],用 A 表示,在计量微小电流时,通常用毫安(mA)或微安(μ A)作单位; dq 为微小电荷量,单位是库[仑],用 C 表示; dt 为微小的时间间隔,单位是秒,用 s 表示。

按照电流的大小和方向是否随时间变化,分为恒定电流(简称直流 DC)和时变电流,分别用符号 I 和 i 表示。平时所说的交流(AC)是时变电流的特例,它满足两个特点,一是周期性变化,二是一个周期内电流的平均值等于零。

以后对其他物理量一般也用大写字母代表恒定量,用小写字母代表变动的量。

在分析电路时往往不能事先确定电流的实际方向,而且时变电流的实际方向又随时间不断变化。因此在电路中很难标明电流的实际方向。为此,引入电流的**参考方向**这一概念。

参考方向的选择具有任意性。在电路中通常用实线箭头或双字母下标表示,实线箭头可以画在线外,也可以画在线上。为了区别,电流的实际方向通常用虚线箭头表示,如图 1.3 所示。而且规定:若电流的实际方向与所选的参考方向一致,则电流为正值,即 $i > 0$;若电流的实际方向与所选的参考方向相反,则电流为负值,即 $i < 0$,如图 1.3 所示。这样一来,电流就成