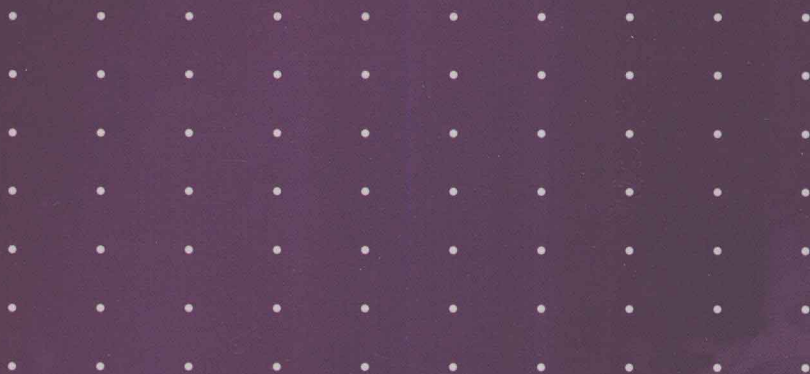


教育部高等学校电子电气基础课程教学指导分委员会推荐教材

电路分析

■ 金波 编著



教育部高等学校电子电气基础课程教学指导分委员推荐教材

电路分析

Dianlu Fenxi

■ 金波 编著



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

内容简介

本书论述了电路的基本理论和基本分析方法,内容符合“教育部高等学校电子电气基础课程教学指导委员会”新制订的“电路分析基础”课程教学基本要求。本书共分12章,包括电路模型与电路定律、简单电阻电路、等效变换与等效电路、电路分析的基本方法、正弦稳态电路、正弦稳态功率、三相电路、互感电路、滤波器与多频率电路、动态电路时域分析、动态电路拉普拉斯变换分析和双口网络。

本书适应应用型工科电工电子类课程体系改革的需要,注重基础知识和工程实例的应用,介绍涉及多个领域的工程应用实例,并强调计算机的应用。

本书起点低、简明易懂、风格独特、资料丰富、面向应用、便于自学,可作为本科生的教材,也可供相关人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

电路分析/金波编著. —北京:高等教育出版社, 2011.10

ISBN 978-7-04-033144-8

I. ①电… II. ①金… 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(2011)第183920号

策划编辑 杜 炜	责任编辑 王勇莉	封面设计 赵 阳	版式设计 马敬茹
插图绘制 尹 莉	责任校对 金 辉	责任印制 张福涛	

出版发行 高等教育出版社	咨询电话 400-810-0598
社 址 北京市西城区德外大街4号	网 址 http://www.hep.edu.cn
邮政编码 100120	http://www.hep.com.cn
印 刷 北京市鑫霸印务有限公司	网上订购 http://www.landaco.com
开 本 787mm×1092mm 1/16	http://www.landaco.com.cn
印 张 30.5	版 次 2011年10月第1版
字 数 740千字	印 次 2011年10月第1次印刷
购书热线 010-58581118	定 价 44.00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

物 料 号 33144-00

序

自 1999 年以来,我国高等教育的规模发生了历史性变化,开始进入大众化的发展阶段。高等院校从生源基础知识水平、课程设置、教学目的到培养目标都趋于多元化,原有教材类型和种类较少的现状已经难以满足不同类型高等院校培养不同类型人才的需求。而在本科教育中,基础课程建设是保证和提高教学质量的关键。为此,“教育部高等学校电子电气基础课程教学指导分委员会”与高等教育出版社合作,以教育部高等学校电子电气基础课程教学指导分委员会最新制定的《电子电气基础课程教学基本要求》、电子信息科学类与电气信息类各教学指导分委员会最新制定的专业规范以及《全国工程教育专业认证标准(试行)》为依据,共同组织制订了“电子信息科学类与电气信息类专业平台课程教材规划”。

这套规划教材的制订和编写遵循了以下几点原则:

1. 尊重历史,将高等教育出版社经过半个多世纪的积淀所形成的名家名作、精品教材纳入规划。这些教材经过数十年的教学实践检验,具有很好的教学适用性。此次规划将依据新的《电子电气基础课程教学基本要求》以及电气信息学科领域的最新发展,对教材内容进行修订。
2. 突出分类指导,突出不同类型院校工程教育的特点。大众化教育阶段,不同类型院校的人才培养目标定位不同,应当根据不同类型院校学生的特点组织编写与之相适应的教材。鼓励有编写基础的一般院校和应用型本科院校经过 2~3 年的试用,形成适用于本层次教学的教材。
3. 理论知识与实际应用相结合。提倡在教材编写中把理论知识与在实际生产和生活中的应用紧密结合,着重培养学生的工程实践能力和创新能力,以适应社会对工程教育人才的要求。
4. 数字化的多媒体资源与纸质教材内容相结合。在教育部“加快教育信息化进程”的倡导下,提倡利用多样化、立体化的信息技术手段(如动画、视频等),将课程教学内容展现给学习者,以加深他们对知识的理解,达到更好的教学效果。

教材建设是一项长期、艰巨的工程。我们将本着成熟一批出版一批的指导思想,把这项工作扎实持续地推进下去,为电子信息科学类与电气信息类专业基础课程建设一批基础扎实、教学适用性强、体现时代气息的规划教材,为提高高等教育教学质量,深化高等教育教学改革做出应有的贡献。

教育部高等学校电子电气基础课程教学指导分委员会主任委员



2010 年 12 月

前言

本书编写的目的与定位

我国高等教育已从过去的精英化教育发展到现在的大众化教育阶段。为此,课程体系和教学内容都要进行改革。加强工程教育和因材施教是教学改革的重点。本书编写的目的是要适应这种改革的需要,为教学改革提供既满足教育部高等学校电子电气基础课程教学指导分委员会制订的“电路分析基础”课程教学基本要求,又能适应我国高等工程教育的实用教材。

本书使用对象是应用型大学本科学子。经过 30 多年的教学实践和教学改革,逐步形成了自己对课程相关内容的独特理解,应用型本科大学教师和学生都希望编写一本符合他们实际情况、即满足教学基本要求又有加深拓宽的内容、加强工程实践能力培养的教材。本书就是本着这一基本思路编写的。其编写的指导思想是“立足基础,精选内容,突出应用,利于教学,便于自学”。在编写的过程中尽量参考国外优秀教材,选用其中的习题,使之与国际接轨。精选工程应用实例,加强理论和实践的结合,读者将会看到本书结构和习题都比较新颖。

“电路分析”课程在大学电气信息类专业中的地位

“电路分析”课程是电气信息学科的学科基础课程,也是电气信息类各专业的平台课程。是学习信号与系统、电子技术和电力电子技术等课程的先修课程和第一门专业基础课程。

根据应用型本科层次的特点,重构新的课程理念指导课程建设。课程体系应从“层状”转向“网状”。为了适应这种转变,必须改变以往各门课程之间完全隔离的状态,使“电路分析”与其他相关课程互相融合。几门电子电气基础课程与“电路分析”课程的网状结构如图 1 所示。

“电路分析”与“信号与系统”的融合内容为:动态电路的时域分析和拉普拉斯变换分析,零输入响应和零状态响应的概念,网络函数,频率响应的概念。

“电路分析”与“模拟电子电路”的融合内容为:二极管电路、三极管放大电路、运算放大器电路、谐振电路、电路频率响应。

“电路分析”与“数字电子电路”的融合内容为:三极管的截止与饱和特性、开关电路、门电路、A/D 和 D/A 转换电路。

“电路分析”与“电力电子技术”的融合内容为:三相电路、功率因数及提高、无功功率的概念、互感与变压器电路。

因此,本书与其他同类教材不一样,是为学习电气信息类各门基础课奠定基础,而不仅仅是局限于理想电路模型的学习。

本书的组织结构与学时安排

一般将电路划分为电阻电路、动态电路和正弦稳态电路。在讲授本课程中,比较通行的有两种方法。一种是按电

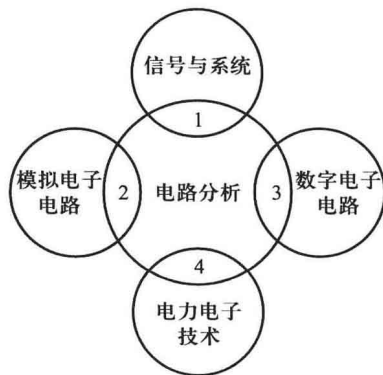


图 1

阻电路、动态电路和正弦稳态电路的顺序结构;另一种则是按电阻电路、正弦稳态电路、动态电路的顺序结构。本书编写采用第二种,因为选用这种讲授顺序,可以将电路分析方法逐步从电阻电路推广到正弦稳态电路,又进一步推广到动态电路。最终将三大电路的分析方法统一起来。由浅入深、先易后难比较符合认知规律。

本书可划分为4部分:

- (1) 电阻电路(第1至4章)22~24学时
- (2) 正弦稳态电路(第5至9章)26~28学时
- (3) 动态电路(第10、11章)14~16学时
- (4) 双口网络(第12章)2~4学时

本书每章以学习目标开始,学习目标列写了这一章主要的学习知识点以及要求掌握的程度。每章末都有小结和思考题,有助于学生总结出在这一章所得到的主要结论,并对这一章的主要问题进行思考,以便加深对课程内容的理解。

讲授全书内容约需64~72学时。本书标有“*”号内容为选讲内容,这些内容往往比较深入。另外,书中有关计算机分析的内容可以让学生自学,由于学时有限可在课外讨论。本书涉及教学改革的内容,如二极管、三极管和门电路等,跳过这些内容并不影响本书的连续性。考虑到二年级上学期与电路课程同时开设有“积分变换”的数学课程,因此,本书最后用较少的时间(6学时)讲授“动态电路的拉普拉斯变换分析”比较容易。这样就可以获得对电路理论较全面的认识。

本书特点

编写本书的过程中,力争体现知行统一、双向互动的教学理念,试图将电路分析的这种学术型课程转变为应用型课程,以实现因材施教,突出应用型大学的教材特色。

1. 构建“大电路”的课程体系

将本课程与信号与系统、模拟电子电路、数字电子电路、高频电子电路、电力电子电路的相关内容融合,使电路分析有了具体的工程应用背景。具体做法是将二极管、三极管、运算放大器作为基本电路元件,成为电路分析的对象。

2. 注重工程应用能力的培养

工程应用能力包含计算机应用能力和理论应用于实践的能力。本书选用 Matlab 作为辅助电路计算工具,选用 EWB 仿真软件作为电路仿真工具,并在每章后讨论工程应用的实例,以提高学生的学习兴趣,从而更加深入理解电路分析的基本原理。本书精选工程应用实例 26 个,体现了教材的时代气息。

3. 减少电路计算的高难度技巧,使电路分析方法回归自然

主要体现在:其一,在讲述网孔方程和节点方程时,国内教材均采用自电阻、互电阻和自电导、互电导的公式化方法。这种列方程的方法学生学习入门难、容易忘、解决特殊问题时技巧性强。本书直接采用基尔霍夫定律列写电路方程,对特殊问题的处理采用国外教材流行的“超网孔”和“超节点”方法。其二,在讲述相量时,采用相量变换与反相量变换的概念,这一概念与后续课程“信号与系统”中的傅氏变换、拉氏变换相呼应,同时叙述也简单得多。其三,淡化一阶电路时域分析的“三要素法”,取而代之是解微分方程的简捷法,更复杂的动态电路采用拉普拉斯变换分析法。

本书的创新之处

1. 打破电路分析课程与相关课程的严格界线

引入二极管、晶体管、运算放大器作为电路分析的对象,不仅涉及模拟电路,还涉及数字电路,将电路分析与相关课程有机融合,力争解决后续课程的基本分析计算问题。

2. 引入大量工程应用实例,突出应用性特征

本书精选工程应用实例 26 个,涵盖了日常生活中的报警电路、汽车供电、用电安全、充电电路、闪光灯电路等;模拟和数字电子电路中的 A/D 和 D/A 转换电路、振荡器等;电力系统中的电力传输和无功功率补偿、功率测量、特高压电力传输、浪涌保护器等;信号传输与处理方面的超外差式收音机、音调控制电路、示波器探头补偿等。

3. 体现知识与实践的双向互动,实现知行统一

每章内容从“本章导读”开始,引出这一章的所要遇到的工程应用问题或学习这一章内容的意义和要解决的问题。主要知识点叙述后是“计算机分析”,最后是“应用实例阅读”,将所学知识应用于工程实例的分析。在习题中,设有“应用与设计”栏目,将工程应用问题作为习题讨论。这种知识结构安排实现了理论知识与工程实践的双向互动,改革了传统教材从理论到理论的单向知识传输模式。

个性化多层次的习题设计

在精选习题时,本书采用分层次递进的结构。将习题分为三个层次:

(1) 基本练习题,这是大多数学生必须会做的习题。

(2) 复习提高题,这种题难做些,不要求人人会做,是给学有余力的学生提供的,特别是要考研的同学。

(3) 应用与设计题,是供学生在学完一章后,结合应用实例中的问题给出的题目。

习题中含有 $\textcircled{M}$ 符号,表示该习题可以用 Matlab 计算;含有 $\textcircled{E}$ 符号,表示该习题可以用 EWB 仿真分析。另外,每章中还有训练对基本概念的理解和简单计算的自测题。这些自测题多数是选择题和填空题,在课堂上就可以思考并解答。

参加本书编写的还有刘焰、蔡卫菊、付润江、余仕求和刘开健。

本书承大连理工大学陈希有教授审阅,他对本书初稿进行了详细认真的修改并提出了一些非常好的建议,在此表示衷心的感谢!

由于编者水平有限,书中难免有错误与不妥之处,恳请读者批评指正。欢迎提出宝贵意见和索取有关资料。编者联系方式:bo_jin@126.com.

编 者

2011 年 2 月于长江大学

目 录

第 1 章 电路模型与电路定律	1	2.2.1 电阻的并联	36
本章导读:电气信息学科概述	1	2.2.2 单节点电路	40
1.1 电路分析的含义	2	2.2.3 电路中的开路和短路	42
1.1.1 电路分析	2	2.3 串-并联电路	43
1.1.2 电路分析与设计	3	2.3.1 串-并联电路的等效电阻	43
1.1.3 电路及其分类	4	2.3.2 分压公式和分流公式的应用	45
1.2 电路变量	5	2.3.3 分压器的负载效应	47
1.2.1 电流及其参考方向	5	2.4 晶体管的开关电路模型	49
1.2.2 电压及其参考方向	6	2.4.1 BJT 的开关模型	49
1.2.3 功率和能量	6	2.4.2 MOSFET 的开关模型	50
1.2.4 国际单位制	8	2.4.3 门电路及其实现	51
1.3 基尔霍夫定律	9	* 2.5 应用实例阅读	54
1.3.1 一些有关的电路术语	9	2.5.1 汽车供电系统	54
1.3.2 基尔霍夫电流定律	10	2.5.2 家庭防盗报警器	55
1.3.3 基尔霍夫电压定律	11	2.5.3 多点故障报警电路	55
1.4 电路元件	13	* 2.6 计算机仿真	56
1.4.1 电阻元件	13	第 3 章 等效变换与等效电路	64
1.4.2 电压源	16	本章导读:集成电路的发展	64
1.4.3 电流源	17	3.1 电源等效变换	65
1.4.4 受控电源	19	3.1.1 实际电源的模型	65
* 1.5 应用实例阅读	20	3.1.2 两种电源模型的等效互换	67
1.5.1 人体的电路模型与电气安全	20	3.1.3 独立电源的串联和并联	70
1.5.2 二极管限幅电路	22	3.1.4 独立电源与其他元件的串 联和并联	71
1.5.3 简易 12V 汽车蓄电池充电器	22	3.2 含受控源的等效电路	75
* 1.6 计算机仿真	23	3.2.1 含受控源等效电路的计算规律	75
第 2 章 简单电阻电路	30	3.2.2 晶体管的小信号电路模型	76
本章导读:从电子管到晶体管	30	3.2.3 晶体管放大器的动态分析	77
2.1 串联电路	31	3.3 电阻的 Y- Δ 等效变换	80
2.1.1 电阻的串联	31	3.4 平衡电桥电路	82
2.1.2 单回路电路	34	* 3.5 对称网络	84
2.1.3 电位的概念	35	3.6 运算放大器电路	87
2.2 并联电路	36		

3.6.1 运算放大器及其等效电路	87	5.2.2 电感元件	162
3.6.2 理想运算放大器的特点	88	5.2.3 电容元件	164
3.6.3 含理想运放电路的分析	89	5.3 频域下的电路定律	168
3.6.4 电压比较器	91	5.3.1 阻抗	168
* 3.7 应用实例阅读	92	5.3.2 导纳	169
3.7.1 烟雾报警器	92	5.3.3 阻抗与导纳的关系	170
3.7.2 A/D 转换器	93	5.3.4 KVL 和 KCL 的相量形式	171
* 3.8 计算机仿真	95	5.4 RLC 串联与 RLC 并联电路	174
第 4 章 电路分析的基本方法	104	5.4.1 RLC 串联电路	174
本章导读:电路的计算机辅助分析	104	5.4.2 RLC 并联电路	178
4.1 网孔分析法	105	5.5 简单电路分析	182
4.1.1 网孔分析的一般方法	105	5.6 复杂电路分析	187
4.1.2 网孔分析的特殊方法	107	5.7 相量图分析	190
4.2 节点分析法	111	* 5.8 正弦稳态电路的计算机分析	195
4.2.1 节点分析的一般方法	111	* 5.9 应用实例阅读	196
4.2.2 节点分析的特殊方法	113	5.9.1 电容倍增电路	196
4.2.3 弥尔曼定理	115	5.9.2 振荡器	198
* 4.3 电路方程的计算机解	117	第 6 章 正弦稳态功率	208
4.4 线性性质与叠加定理	119	本章导读:无功功率与节电技术	208
4.4.1 齐性原理	119	6.1 正弦稳态电路的功率	209
4.4.2 叠加定理	120	6.1.1 瞬时功率	209
4.5 替代定理	125	6.1.2 平均功率	210
4.6 戴维南定理和诺顿定理	126	6.1.3 无功功率	211
4.7 最大功率传输定理	135	6.1.4 视在功率和功率因数	211
4.8 对偶原理	138	6.1.5 复功率	212
* 4.9 计算机仿真	141	6.2 功率因数及其提高	217
* 4.10 应用实例阅读	142	6.2.1 提高功率因数的意义	217
4.10.1 T 型电阻网络 D/A 转换器	142	6.2.2 提高功率因数的措施	218
4.10.2 倒 T 型电阻网络 D/A 转换器	143	6.2.3 电容值的计算	219
第 5 章 正弦稳态电路	155	6.3 最大功率传输	220
本章导读:为什么要使用正弦交		* 6.4 计算机分析	224
流电	155	* 6.5 应用实例阅读	225
5.1 正弦波与相量	156	6.5.1 交流功率测量	225
5.1.1 正弦信号	156	6.5.2 电力系统无功功率补偿	227
5.1.2 复数及其运算	157	第 7 章 三相电路	237
5.1.3 相量	159	本章导读:电力传输技术	237
5.2 频域下的三个基本元件	162	7.1 三相电路的基本概念	238
5.2.1 电阻元件	162	7.1.1 三相电源	238

7.1.2 三相负载的 Y 形接法	240	8.7.2 钳形电流表	294
7.1.3 三相负载的 Δ 形接法	241	第 9 章 滤波器与多频率电路	303
7.2 对称三相电路的计算	243	本章导读:频率响应与滤波器概述	303
7.2.1 Y-Y 连接的对称三相电路	243	9.1 低通和高通滤波器	304
7.2.2 Δ 负载的对称三相电路	245	9.2 串联谐振电路	306
7.2.3 复杂对称三相电路的计算	248	9.2.1 串联谐振的特点	307
7.3 不对称三相电路的计算	249	9.2.2 串联谐振的品质因数	308
7.4 对称三相电路的功率	253	9.2.3 串联谐振滤波器	312
* 7.5 不对称三相电路的计算 机分析	256	9.3 并联谐振电路	313
* 7.6 应用实例阅读	258	9.3.1 并联谐振的特点	314
7.6.1 三相功率的测量	258	9.3.2 并联谐振的品质因数	314
7.6.2 三相系统的配电方式	260	9.3.3 线圈与电容器并联谐振	315
7.6.3 特高压电力传输	261	9.3.4 并联谐振滤波器	317
第 8 章 互感电路	268	9.4 有源滤波器	318
本章导读:变压器概述	268	9.5 多频率信号与电路	320
8.1 互感	269	9.5.1 多频率信号的平均功率 和有效值	320
8.1.1 互感系数	269	9.5.2 多频率电路的分析	323
8.1.2 同名端	271	* 9.6 频率特性的计算机绘制	326
8.1.3 耦合系数	273	* 9.7 应用实例阅读	327
8.2 含互感电路的分析	273	9.7.1 超外差式收音机	327
8.2.1 网孔分析法	273	9.7.2 音调控制电路	328
8.2.2 去耦等效电路法	275	第 10 章 动态电路时域分析	341
8.3 空心变压器	277	本章导读:研究电路暂态过程 的意义	341
8.3.1 一次侧等效电路	277	10.1 动态电路和换路定律	342
8.3.2 二次侧等效电路	279	10.1.1 动态电路的特点	342
8.4 理想变压器	281	10.1.2 换路定律	343
8.4.1 理想变压器的伏安关系	281	10.1.3 初始值的确定	344
8.4.2 理想变压器的阻抗变换作用	284	10.2 无源一阶电路	347
* 8.4.3 含理想变压器电路的计算	286	10.2.1 RC 电路的零输入响应	347
8.5 特殊变压器	288	10.2.2 时间常数	349
8.5.1 带抽头和多绕组变压器	288	10.2.3 RL 电路的零输入响应	351
8.5.2 自耦变压器	290	10.3 直流电源激励的一阶电路	354
8.5.3 三相变压器	291	10.3.1 直流电源作用于 RC 电路	354
* 8.6 计算机仿真	292	10.3.2 直流电源作用于 RL 电路	357
* 8.7 应用实例阅读	292	10.4 全响应的分解特性	359
8.7.1 实际变压器的特性	292		

10.4.1 零输入响应和零状态响应	359	11.2 利用部分分式法求拉普拉斯反变换	400
10.4.2 自由响应和强迫响应	360	11.2.1 单实根情况	401
10.5 一阶电路的阶跃响应	361	11.2.2 多重根情况	402
10.5.1 阶跃函数	361	11.2.3 共轭复根情况	403
10.5.2 阶跃响应	362	11.3 S域电路与电路定律	405
10.5.3 积分电路和微分电路	363	11.3.1 S域下的基本元件	405
10.6 无源二阶电路微分方程的建立	366	11.3.2 S域下的电路定律	407
10.6.1 无源 RLC 串联电路	367	11.4 动态电路的拉普拉斯变换分析	409
10.6.2 无源 RLC 并联电路	368	* 11.5 计算机分析	413
10.6.3 固有频率	370	* 11.6 应用实例阅读	416
10.7 RLC 串联电路的零输入响应	371	11.6.1 浪涌保护器	416
10.7.1 过阻尼的零输入响应	372	11.6.2 示波器探头补偿	418
10.7.2 临界阻尼的零输入响应	373	第12章 双口网络	426
10.7.3 欠阻尼的零输入响应	374	本章导读:研究双口网络的意义	426
10.7.4 无阻尼的零输入响应	375	12.1 双口网络的基本概念	427
10.8 二阶电路的全响应	377	12.2 阻抗参数	428
* 10.9 微分方程的计算机解	381	12.3 导纳参数	432
* 10.10 应用实例阅读	383	12.4 传输参数	434
10.10.1 数字集成电路中的频率限制	383	12.5 混合参数	436
10.10.2 闪光灯电路	384	12.6 双口网络的互联	438
第11章 动态电路拉普拉斯变换分析	395	* 12.7 计算机分析	440
本章导读:三类电路的统一分析方法	395	* 12.8 应用实例阅读——晶体管的 H 参数模型	442
11.1 拉普拉斯变换	396	附录A EWB 仿真软件简介	449
11.1.1 拉普拉斯变换的定义	396	附录B Matlab 软件简介	455
11.1.2 拉普拉斯变换的基本性质	397	附录C 二阶电路时域分析程序	464
		部分习题参考答案	466
		参考文献	472

第 1 章

电路模型与电路定律

学习目标

- 说明电路分析的含义
- 建立电路模型的概念
- 叙述电路变量、参考方向、功率和能量
- 应用基尔霍夫定律和欧姆定律计算简单电路
- 说明几种常用电路元件的特性

本章导读：

电气信息学科概述

当今世界上迅速发展的电气信息学科,越来越广泛地影响着人们的生活方式和工作方式。卫星通信、电话、数字计算机、电视、用于诊断的医学设备以及电力传输、数控机床、智能机器人等,已成为现代信息社会具有代表性的组成部分。

电气信息学科与生产、传送、测量、控制、处理电信号的系统有关。电气信息工程的五个主要分支是:通信系统、计算机系统、控制系统、电力系统、信号处理系统。

通信系统是产生、传送、分配信息的电子系统,例如电视系统、定位飞机航线的雷达系统、移动电话和固定电话系统等。

计算机系统用电信号处理信息,例如文字处理和数学计算。不同系统的体积、功率大小不同,从便携式笔记本电脑、台式个人计算机,到能完成相当复杂任务的超级计算机(比如能处理气象资料的计算机)。

控制系统用电信号控制生产过程,例如炼油厂里的温度、压力和流速的控制器,电梯中电机、门和灯光的控制装置,能自动完成对机械部件进行加工的数控机床,能帮助飞机飞行和着陆的自动导航及自动着陆系统。

电力系统产生和分配电力,电力是信息社会的基础。电力系统通常是将发电厂(核能发电、火力发电、水力发电)产生的电能,通过跨越全国的电力网分配、传输到各个用电部门。电力系统的自动化运行和对突发事件的智能处理,是保障国民经济和人民生活正常的关键。

信息处理系统对表现信息的电信号进行

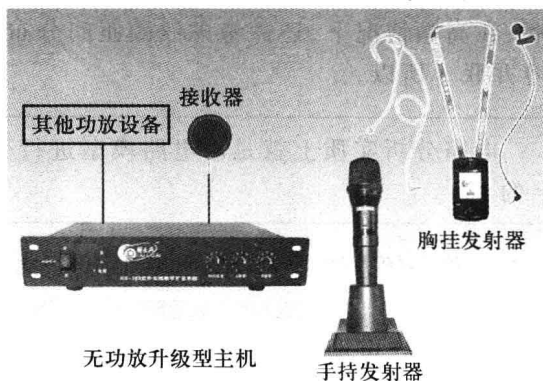


图 1-1 扩音系统

处理。生物医学信号处理的目标是从生物信号中提取信息,帮助我们诊断和治疗疾病。地震勘探资料处理系统的目的是从地震信号中找出有用的信息,帮助我们寻找地下矿产。另外,信息处理还涉及诸如扩音机(图1-1)、图像增强等领域。

五类系统之间实际上是相互联系和相互作用的。例如,通信工程师会用计算机来控制信息的流动。计算机中包含控制系统,而控制系统中也包含计算机。电力系统需要规模巨大的通信系统来安全可靠地调整系统的运行。信号处理系统中也会包含通信、计算机和控制系统。

作为电气信息学科领域的大学生,不仅要学习本专业的知识,而且还要熟悉与这一领域相关的其他领域的知识。因此,电气信息学科领域的各专业是最具有挑战性的。

1.1 电路分析的含义

1.1.1 电路分析

电气信息学科领域涉及的面较广,它的各个分支有着共同的技术基础。电路理论就是其中之一。“电路分析”是电气信息学科的基础课程和先导课程,而且是主要的必修课程。

电路理论主要用于计算电路中各器件的端子电流和端子间的电压,一般不涉及内部发生的物理过程。本书讨论的电路不是实际电路而是它们的电路模型。实际电路的电路模型是由理想电路元件相互连接而成。理想电路元件是实际电路元件的一种抽象。

“电路”通常是指实际电气系统抽象得到的电路模型。也就是说,

电路模型是由理想化的电路元件所组成。理想电路元件表征了实际元件的主要物理特性。

如电阻元件、电感元件、电容元件以及理想电源元件等。这些理想化了的电路元件,是在一定的条件下,表征了实际元件的主要物理特征,它是实际元件的一种近似。如一个电感线圈在直流稳定状态下,可抽象成为一个电阻;在交流低频情况下,可抽象成为电阻和电感的串联;在高频情况下,还需考虑线圈匝间分布电容,此时可抽象成为电阻和电感串联后再与电容并联。所以,

电路分析实质上就是对电路模型进行分析。电路理论是建立在电路模型的基础之上的。

这正像牛顿力学是建立在质点和刚体的基础上一样,其中质点和刚体就是牛顿力学的力学模型。

电路也称“电网络”,或简称“网络”。电路理论是一门研究电路分析和电路综合或设计的基础工程学科,电路分析的任务是探讨电路的基本定律和定理,讨论不同类型电路的各种计算方法。

1.1.2 电路分析与设计

一般的电路问题可以用图 1-2 中的三部分表示。一是电路(网络)部分,它由电阻、电感和电容等电路元件连接而成;二是输入部分,就是电路的输入信号,也称为电路的激励;三是输出部分,就是电路中的待求量(电流或电压),也称为电路的响应。

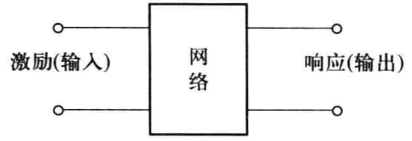


图 1-2 电路框图

在已知电路的结构及电路元件参数的条件下,当激励给出后求响应,或当响应已知时求激励,这就属于电路分析的范畴。

若已知响应和激励,要求电路的结构和参数,这就属于电路设计的范畴。如表 1-1 所示。本书将主要研究电路分析,在适当场合也会讨论电路设计问题。

表 1-1 电路分析与设计说明

网络	激励	响应	研究范围
✓	✓	?	电路分析
✓	?	✓	电路分析
?	✓	✓	电路设计

分析和设计之间的一个关键区别是,在分析电路时,电路响应通常有一个唯一的答案,而电路设计一般没有唯一的方案。例如,让几个人设计一座房子,有人可能用砖,有人用木村,有人会设计成二层楼房,还有人会选择简易的平房。

电路设计离不开电路分析,电路分析在电路设计中起着什么作用? 图 1-3 是电路设计的示

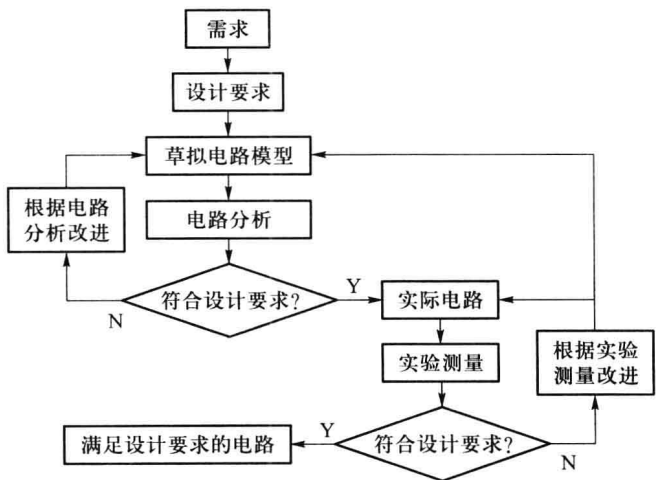


图 1-3 电路设计示意图

意图。所有电路设计都开始于提出的需求,根据需求确定电路的性能指标即设计要求。根据工程师的教育程度和经验可以草拟电路模型,再用电路分析的方法来预测电路模型的特性。通过比较设计要求与电路分析得到的结果,进行电路模型的改进。一旦期望特性和预测特性一致,实际电路就构成了。对实际电路进行实验测试、实际特性与设计要求比较后,对实际电路和电路模型进行改进。重复进行处理,不断改进元件和系统,最终构成满足设计要求的电路。

从以上描述中可以看出,设计过程中的电路分析起着非常重要的作用。

1.1.3 电路及其分类

电路是由若干电气设备或器件组成的总体,通常其间有电流通路。有些电路很复杂,如超高压电力网络、大规模集成电路等。但有的电路非常简单,如手电筒就是一个最简单的电路。差别如此大的电路要用相同的电路分析方法来分析是不可能的。

1. 集总参数电路和分布参数电路

当电路的几何尺寸远小于使用时其最高工作频率所对应的波长时,就属于**集总参数电路**,否则属于**分布参数电路**。

怎样来定义远小于呢?如果电路尺寸是最高工作频率所对应的波长的十分之一,则就可以作为集总参数电路。例如,我国市电网的频率为 50 Hz,则对应的波长 λ 为

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8}{50} \text{ m} = 6 \times 10^6 \text{ m} = 6\,000 \text{ km}$$

其中 c 为光速, $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$, f 为频率。因此,对以此为工作频率的用电设备来说,其尺寸远小于这一波长,可以按集总参数电路处理,而对远距离输电线来说,就必须用分布参数电路的分析方法来处理。

另一方面,无线电信号的传播频率若为 10^9 Hz ,因此波长为 0.3 m。使用十分之一的标准,发送或接收无线电信号的通信系统的相应尺寸必须小于 3 cm 才能作为集总参数系统。如果研究中的电路的尺寸与信号的波长接近,则就必须按分布参数电路来处理。

2. 线性电路和非线性电路

若定义电路的激励为 x ,响应为 y ,两者之间满足 $y = f(x)$ 。如果有

$$ay = f(ax) \quad (1-1)$$

和

$$y_1 + y_2 = f(x_1 + x_2) \quad (1-2)$$

则该电路称为**线性电路**,否则称为**非线性电路**。式中 a 为任意常数, $y_1 = f(x_1)$, $y_2 = f(x_2)$ 。

同理,满足式(1-1)和式(1-2)的电路元件称为线性元件。

本书研究的是线性电路的分析。

在实际中,我们遇到的几乎都是非线性电路:电视和收音机信号的接收和解码电路;微处理器中每秒百万次的运算电路;电话中语音到电信号的转换电路等。既然非线性电路如此广泛,我们为什么要学习线性电路呢?一是线性电路的分析比非线性电路的分析要容易得多。并且理论上比较成熟。二是有许多非线性电路在一定的条件下可以近似地用线性电路来处理。

3. 时变电路和非时变电路

存在着这样一类电路元件,其参数随着时间变化,这种元件称为时变元件。参数不随时间变化的元件称为非时变元件。

线性元件的电阻值 R 、电感量 L 、电容 C 不随时间变化,始终是一个常数,就称它们是线性非时变元件。由这种线性非时变元件和电源组成的电路就称为**线性非时变电路**。

本书只研究这种电路的分析原理和方法。

“电路分析”是基础性课程,只讨论电阻电路分析、正弦稳态电路分析和动态电路的分析。至于更高级的时域分析、频域和复频域分析将在后续课程“信号与系统”课程中学习。

1.2 电路变量

电路分析中心任务就是求解电路变量。**电路变量**主要是指电路中的电流、电压和功率。

1.2.1 电流及其参考方向

电场的作用是使电荷运动或移动,电荷的有规则运动或移动即形成电流。单位时间内通过导体横截面的电荷量定义为电流,表示为

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1-3)$$

其中, i 是电流,单位为 A(安培); q 是电荷量,单位为 C(库仑); t 是时间,单位为 s(秒)。

习惯上把正电荷运动的方向规定为电流的方向。遗憾的是,直到后来才意识到这个被广泛使用的定义是不正确的,实际上导体中的电流是由负电荷而不是正电荷的流动产生的。

如果电流的大小和方向不随时间变化,则这种电流称为恒定电流,简称直流(简写 DC)。用 I 表示。若电流的大小和方向随时间变化,则称交流电流。按正弦变化的电流是交流电流中的一种,简称交流(简写 AC),用 i 表示。

虽然正电荷运动的方向规定为电流的方向,但在复杂电路中,特别是交流电路中,电流的方向是随时变化的,电流的真实方向事先是很难确定的。需要假定一个**参考方向**,作为计算的标准。由于电流只有两个流向,可用正负号表示电流的流向。当 $i > 0$ 表示电流真实方向与参考方向一致;当 $i < 0$ 表示电流真实方向与参考方向相反。图 1-4 中表示了相同电流的两种表示方法。

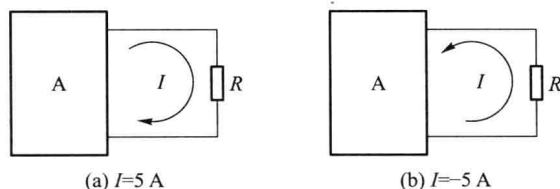


图 1-4 电流方向的两种等效表示

在分析电路时,我们尽可先任意假设电流的参考方向,并以此为准去进行分析、计算,从最后答案的正、负值来确定电流的真实方向。显然,在未标出参考方向的情况下,电流的正负是毫无意义的,并且参考方向一经设定就不宜随意改动。

1.2.2 电压及其参考方向

在图 1-5 中,假定直流电流进入 A 端,通过元件又从 B 端回来。同时假定,推动电荷流过元件需要消耗能量。所以在两个端点之间存在电压(或电位差),这时称 A 点为高电位,即正极, B 点为低电位,即负极。电荷流过元件消耗能量表现为电压降。

端点 A、B 间的电压是推动电荷流过元件所需做功的度量。电压的单位是 V(伏特),用 U 表示直流电压, u 表示瞬时电压。

如同需要为电流规定参考方向一样,也需要为电压规定参考方向(极性)。

电流的参考方向用箭头表示,电压的参考方向则用“+”、“-”符号来表示。“+”表示高电位,“-”表示低电位。图 1-6 中表示了相同电压的两种表示方法。

与电流的参考方向一样,在电路图中,对元件所标的电压参考方向也可以任意选定,不一定代表电压的真实极性,它们配合着电压的正值或负值,表明电压的真实极性。

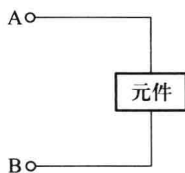


图 1-5 一般两端元件

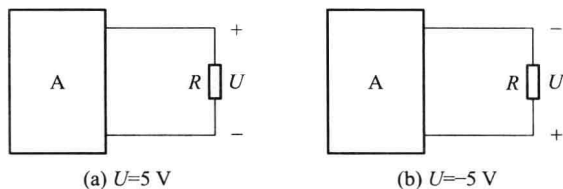


图 1-6 电压极性的两种等效表示

1.2.3 功率和能量

如果设定流过元件的电流的参考方向是从高电位流向低电位,即电压和电流的参考方向一致,我们把电流和电压的这种参考方向称为关联参考方向。如图 1-7 所示。当两者不一致时,称为非关联参考方向。

当电流的参考方向与电压的参考方向一致时,称电流和电压的参考方向为**关联参考方向**。

在同一电路中,有的是关联参考方向,有的则是非关联参考方向。如图 1-8 电路中,对电阻元件 R 来说, U 与 I 是关联参考方向;而对电源元件 E 来说, U 与 I 则是非关联参考方向。

功率与电流和电压密切相关。当正电荷从元件上电压的“+”极经元件运动到电压的“-”极时,与此电压相应的电场力要对电荷做功,这时,元件消耗能量;反之,正电荷从电压的“-”极