

可下载教学资料

<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>



高等学校教材
电子信息

电路分析基础 教程与实验

赵桂钦 主编

清华大学出版社



TM133/82

2008

高等学校教材
电子信息

电路分析基础 教程与实验

赵桂钦 主编

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书是为大学本科电气信息类专业编写的教材,全书共分10章,主要介绍电路模型,欧姆定律和基尔霍夫定律,电阻电路的等效变换,电阻电路节点电压分析法、网孔电流分析法和回路电流分析法,电路的叠加定理、替代定理、戴维南定理、诺顿定理、特勒根定理和互易定理,一阶和二阶动态电路的分析,相量法基础;正弦稳态电路分析,含有耦合电感的电路,二端口网络等。最后是电路实验部分,包括电阻电路、动态电路、正弦稳态电路和二端口网络等4类实验内容。

本书可作为高等院校电气信息类专业的基础课教材或教师参考书,也可以选择某些章节作为非电气信息类专业本科或电气信息类专业电大、夜大等成人教育的专业基础教材。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

电路分析基础教程与实验/赵桂钦主编. —北京:清华大学出版社,2008.5

(高等学校教材·电子信息)

ISBN 978-7-302-16944-4

I. 电… II. 赵… 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(2008)第012409号

责任编辑:魏江江 赵晓宁

责任校对:梁毅

责任印制:何莘

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦A座

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

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 刷 者:北京嘉实印刷有限公司

装 订 者:三河市金元印装有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:16 字 数:387千字

版 次:2008年5月第1版 印 次:2008年5月第1次印刷

印 数:1~4000

定 价:26.00元

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:(010)62770177 转 3103 产品编号:024876-01

改革开放以来,特别是党的十五大以来,我国教育事业取得了举世瞩目的辉煌成就,高等教育实现了历史性的跨越,已由精英教育阶段进入国际公认的大众化教育阶段。在质量不断提高的基础上,高等教育规模取得如此快速的发展,创造了世界教育发展史上的奇迹。当前,教育工作既面临着千载难逢的良好机遇,同时也面临着前所未有的严峻挑战。社会不断增长的高等教育需求同教育供给特别是优质教育供给不足的矛盾,是现阶段教育发展面临的基本矛盾。

教育部一直十分重视高等教育质量工作。2001年8月,教育部下发了《关于加强高等学校本科教学工作,提高教学质量的若干意见》,提出了十二条加强本科教学工作提高教学质量的措施和意见。2003年6月和2004年2月,教育部分别下发了《关于启动高等学校教学质量与教学改革工程精品课程建设工作的通知》和《教育部实施精品课程建设提高高校教学质量和人才培养质量》文件,指出“高等学校教学质量和教学改革工程”是教育部正在制定的《2003—2007年教育振兴行动计划》的重要组成部分,精品课程建设是“质量工程”的重要内容之一。教育部计划用五年时间(2003—2007年)建设1500门国家级精品课程,利用现代化的教育信息技术手段将精品课程的相关内容上网并免费开放,以实现优质教学资源共享,提高高等学校教学质量和人才培养质量。

为了深入贯彻落实教育部《关于加强高等学校本科教学工作,提高教学质量的若干意见》精神,紧密配合教育部已经启动的“高等学校教学质量与教学改革工程精品课程建设工作”,在有关专家、教授的倡议和有关部门的大力支持下,我们组织并成立了“清华大学出版社教材编审委员会”(以下简称“编委会”),旨在配合教育部制定精品课程教材的出版规划,讨论并实施精品课程教材的编写与出版工作。“编委会”成员皆来自全国各类高等学校教学与科研第一线的骨干教师,其中许多教师为各校相关院、系主管教学的院长或系主任。

按照教育部的要求,“编委会”一致认为,精品课程的建设工作从开始就要坚持高标准、严要求,处于一个比较高的起点上;精品课程教材应该能够反映各高校教学改革与课程建设的需要,要有特色风格、有创新性(新体系、新内容、新手段、新思路,教材的内容体系有较高的科学创新、技术创新和理念创新的含量)、先进性(对原有的学科体系有实质性的改革和发展,顺应并符合21世纪教学发展的规律,代表并引领课程发展的趋势和方向)、示范性(教材所体现的课程体系具有较广泛的辐射性和示范性)和一定的前

瞻性。教材由个人申报或各校推荐(通过所在高校的“编委会”成员推荐),经“编委会”认真评审,最后由清华大学出版社审定出版。

目前,针对计算机类和电子信息类相关专业成立了两个“编委会”,即“清华大学出版社计算机教材编审委员会”和“清华大学出版社电子信息教材编审委员会”。首批推出的特色精品教材包括:

(1) 高等学校教材·计算机应用——高等学校各类专业,特别是非计算机专业的计算机应用类教材。

(2) 高等学校教材·计算机科学与技术——高等学校计算机相关专业的教材。

(3) 高等学校教材·电子信息——高等学校电子信息相关专业的教材。

(4) 高等学校教材·软件工程——高等学校软件工程相关专业的教材。

(5) 高等学校教材·信息管理与信息系统。

(6) 高等学校教材·财经管理与计算机应用。

清华大学出版社经过二十多年的努力,在教材尤其是计算机和电子信息类专业教材出版方面树立了权威品牌,为我国的高等教育事业做出了重要贡献。清华版教材形成了技术准确、内容严谨的独特风格,这种风格将延续并反映在特色精品教材的建设中。

清华大学出版社教材编审委员会
E-mail:dingl@tup.tsinghua.edu.cn

本书是为大学本科电气信息类专业编写的教材,主要分析电阻电路、动态电路、正弦稳态电路及二端口网络,注重基本概念和电路的理论及应用,力求使本书的广度和深度满足电气信息类专业的本科教学和实习实训的需要。

全书共分10章,第1章主要介绍电路模型和电路理论,包括电阻、电容、电感和电源的伏安特性及电路的KCL和KVL。第2章主要介绍简单电路中串、并联电阻的分析方法,电阻的 Δ 形连接和Y形连接的等效变换,非理想电压源与非理想电流源之间的相互等效。第3章研究复杂电路的分析方法,主要是网孔电流法、节点电压法和回路电流法。第4章介绍几个重要的电路定理,包括叠加定理、替代定理、戴维南定理、诺顿定理、特勒根定理、互易定理和对偶原理,利用这些定理可将有些电路的分析变得更加简单明了,也可以用它们推导电路的其他定理。第5章主要分析动态电路,包括一阶电路和二阶电路。介绍各种响应的概念,如零输入响应、零状态响应、暂态响应、稳态响应、强制响应、固有响应及全响应等,对电路的零输入响应、零状态响应及全响应进行了详细分析,分析了用三要素法求解直流激励时一阶电路全响应的过程,分析了二阶RLC串联电路和GLC并联电路在直流激励时的全响应。第6章主要介绍正弦量的相量表示,电阻、电容和电感的伏安特性在图中的相量表示形式,欧姆定律和基尔霍夫定律的相量形式。第7章介绍了如何得到正弦稳态电路的相量模型,相量模型的分析方法,正弦稳态电路中常用的各种功率,包括瞬时功率、有功功率、无功功率、视在功率和复功率等,最大功率传输的条件,在章末介绍了谐振的概念及串联谐振电路和并联谐振电路的特点。第8章介绍耦合电感的伏安特性,耦合电感的去耦等效、空心变压器、理想变压器。第9章介绍二端口网络参数的定义以及分析计算,分析在串联、并联和级联情况下单级二端口网络与多级网络参数之间的关系,介绍二端口网络的等效电路和网络参数。第10章是电路实验,包括验证基尔霍夫定律的实验、验证戴维南定理的实验、动态电路实验、测试动态元件的频率特性的实验、测定正弦稳态电路参数的实验、含互感的正弦稳态电路的测试实验、串联谐振电路实验及测定二端口网络参数的实验等。目的是通过实验考查本科生必备的分析解决问题的能力 and 动手能力,同时为后续课程《模拟电子技术》打下良好的基础。

本书由赵桂钦主编,高继森和林昕为副主编。林昕编写了第1章,赵桂钦编写了第2~7章,高继森编写了第8~10章。全书由赵桂钦统稿。

在本书编写过程中得到了陈绍东、刘学雨等同志的大力支持,在此深表谢意。感谢杨志飞老师及赵杰、张晶、谢军、贡玉芳等同学的大力帮助。本书的完成得益于上海交通大学技术学院领导的大力支持,作者在此表示感谢。本书参考了许多同仁的编写经验和资料,在此向参考文献中的所有作者表示感谢。作者还要感谢清华大学出版社魏江江同志,他的大力支持使本书得以尽快出版。

限于作者学识水平,书中难免有疏漏或错误,敬请广大读者不吝指正。

编 者

2007年9月于上海交通大学

编审委员会成员

高等学校教材·电子信息

东南大学	王志功	教授
南京大学	王新龙	教授
南京航空航天大学	王成华	教授
解放军理工大学	邓元庆	教授
	刘景夏	副教授
上海大学	方 勇	教授
上海交通大学	朱 杰	教授
	何 晨	教授
华中科技大学	严国萍	教授
	朱定华	教授
武汉理工大学	刘复华	教授
	李中年	教授
宁波大学	蒋刚毅	教授
天津大学	王成山	教授
	郭维廉	教授
中国科学技术大学	王煦法	教授
	郭从良	教授
	徐佩霞	教授
苏州大学	赵鹤鸣	教授
山东大学	刘志军	教授
山东科技大学	郑永果	教授
东北师范大学	朱守正	教授
沈阳工业学院	张秉权	教授
长春大学	张丽英	教授
吉林大学	林 君	教授
湖南大学	何怡刚	教授
长沙理工大学	曾喆昭	教授
华南理工大学	冯久超	教授
西南交通大学	冯全源	教授
	金炜东	教授
重庆工学院	余成波	教授
重庆通信学院	曾凡鑫	教授

重庆大学	曾孝平	教授
重庆邮电学院	谢显中	教授
	张德民	教授
西安电子科技大学	彭启琮	教授
	樊昌信	教授
西北工业大学	何明一	教授
集美大学	迟岩	教授
云南大学	刘惟一	教授
东华大学	方建安	教授

第 1 章 电路模型和电路理论	1
1.1 电路和电路模型	1
1.1.1 实际电路组成	1
1.1.2 电路模型	2
1.2 电流和电压的参考方向	2
1.2.1 电流及其参考方向	2
1.2.2 电压及其参考方向	3
1.2.3 电压、电流的关联参考方向	4
1.3 电功率和能量	4
1.4 电路元件	5
1.4.1 电阻元件	6
1.4.2 电感元件	7
1.4.3 电容元件	8
1.5 电压源和电流源	9
1.5.1 电压源	9
1.5.2 电流源	10
1.6 受控源	10
1.7 基尔霍夫定律	11
1.7.1 基尔霍夫电流定律(KCL)	11
1.7.2 基尔霍夫电压定律(KVL)	13
习题	15
第 2 章 电阻电路的等效变换	20
2.1 电路的等效变换	20
2.2 电阻的串联和并联	20
2.2.1 电阻的串联	20
2.2.2 电阻的并联	21
2.3 电阻的Y形连接和 Δ 形连接的等效变换	22

2.4	理想电源的串联和并联	24
2.4.1	理想电压源的串联	24
2.4.2	理想电流源的并联	25
2.5	实际电源的模型及其等效变换	26
2.5.1	实际电压源的等效模型	26
2.5.2	实际电流源的等效模型	27
2.5.3	实际电源的等效变换	27
	习题	29
第3章	电阻电路分析	33
3.1	KVL 和 KCL 方程的独立性	33
3.1.1	电路的图	33
3.1.2	KCL 方程的独立性	34
3.1.3	KVL 方程的独立性	34
3.2	支路电流法	35
3.2.1	2b 法	35
3.2.2	支路电流法	35
3.3	网孔电流法	36
3.3.1	网孔电流及网孔方程	36
3.3.2	含无伴流源电路的网孔方程	38
3.3.3	含受控源电路的网孔方程	40
3.4	回路电流法	41
3.5	节点电压法	42
3.5.1	节点电压和节点电压方程	42
3.5.2	含无伴压源电路的节点电压方程	44
3.5.3	含受控源电路的节点电压方程	45
	习题	46
第4章	电路定理	51
4.1	叠加定理	51
4.2	替代定理	54
4.3	戴维南定理和诺顿定理	56
4.3.1	戴维南定理	56
4.3.2	诺顿定理	59
4.3.3	最大功率传输的条件	61
4.4	特勒根定理	63
4.5	互易定理	65
4.6	对偶原理	67
	习题	68

第 5 章 动态电路分析	72
5.1 动态电路概述	72
5.1.1 动态电路元件	72
5.1.2 换路定理	75
5.2 一阶电路的零输入响应	76
5.2.1 一阶 RC 电路的零输入响应	76
5.2.2 一阶 RL 电路的零输入响应	78
5.3 一阶电路的零状态响应	79
5.3.1 直流激励时一阶 RC 电路的零状态响应	79
5.3.2 直流激励时一阶 RL 电路的零状态响应	81
5.3.3 阶跃函数和阶跃响应	83
5.4 一阶电路的全响应	84
5.5 求解一阶电路的三要素法	86
5.6 二阶电路的零输入响应	89
5.6.1 二阶 RLC 串联电路的零输入响应	89
5.6.2 二阶 GLC 并联电路的零输入响应	96
5.7 直流源激励时二阶电路的全响应	97
5.7.1 直流源激励时 RLC 串联电路的全响应	97
5.7.2 直流源激励时 GLC 并联电路的全响应	99
习题	101
第 6 章 相量法基础	106
6.1 复数	106
6.1.1 复数及其表示方法	106
6.1.2 复数的代数运算	106
6.2 正弦量的相量表示	108
6.2.1 正弦量的三要素	108
6.2.2 正弦量的相量表示	111
6.2.3 相量图	112
6.3 电路定律的相量形式	112
6.3.1 电路元件伏安特性的相量形式	113
6.3.2 欧姆定律和基尔霍夫定律的相量形式	117
习题	118
第 7 章 正弦稳态电路分析	120
7.1 阻抗和导纳	120
7.1.1 阻抗	120
7.1.2 导纳	121

7.2	阻抗及导纳的串联和并联	122
7.2.1	阻抗的串联和并联	122
7.2.2	导纳的串联和并联	123
7.3	电路的相量模型	125
7.3.1	电路的相量模型	125
7.3.2	电路的相量图	126
7.4	正弦稳态电路的分析	127
7.4.1	网孔电流法	128
7.4.2	节点电压法	129
7.5	正弦稳态电路的功率	131
7.5.1	正弦稳态电路中各种功率的定义	131
7.5.2	最大功率传输的条件	136
7.6	谐振电路	141
7.6.1	RLC 串联谐振电路	141
7.6.2	RLC 并联谐振电路	144
	习题	147
第 8 章	含有耦合电感的电路	154
8.1	耦合电感的伏安特性和同名端	154
8.1.1	耦合电感的伏安特性	154
8.1.2	耦合电感的同名端	156
8.1.3	耦合系数	159
8.2	正弦稳态互感耦合电路的计算	160
8.3	耦合电感的去耦等效	161
8.3.1	耦合电感的串联	162
8.3.2	耦合电感一点相连	163
8.3.3	耦合电感的并联	164
8.4	空心变压器电路分析	165
8.4.1	空心变压器的电路方程	165
8.4.2	初级反映电路	166
8.4.3	次级反映电路	167
8.5	理想变压器的伏安特性	170
8.6	理想变压器的阻抗变换作用	174
	习题	176
第 9 章	二端口网络	180
9.1	二端口网络的方程与参数	180
9.1.1	Z 方程与 Z 参数	180
9.1.2	Y 方程与 Y 参数	182

9.1.3	A 方程与 A 参数	184
9.1.4	H 方程与 H 参数	185
9.2	二端口网络的连接	189
9.2.1	二端口网络的串联	189
9.2.2	二端口网络的并联	190
9.2.3	二端口网络的级联	190
9.3	二端口网络的等效	193
9.3.1	二端口网络的 Z 参数等效电路	193
9.3.2	二端口网络的 Y 参数等效电路	195
9.4	二端口网络的网络参数	196
9.4.1	二端口网络的策动函数	197
9.4.2	传输函数	199
	习题	202
第 10 章	电路实验	205
10.1	故障检查	205
10.1.1	实验目的	205
10.1.2	原理说明	205
10.1.3	任务及方法	208
10.1.4	注意事项	209
10.1.5	预习要求	209
10.1.6	实验报告要求	209
10.1.7	思考题	209
10.1.8	仪器设备	209
10.2	电位、电压、基尔霍夫定律	209
10.2.1	实验目的	209
10.2.2	原理说明	210
10.2.3	任务及方法	210
10.2.4	预习报告要求	211
10.2.5	实验报告要求	211
10.3	戴维南定理	212
10.3.1	实验目的	212
10.3.2	原理说明	212
10.3.3	任务及方法	215
10.3.4	预习报告要求	216
10.3.5	实验报告要求	217
10.4	一阶和二阶电路的研究	217
10.4.1	实验目的	217
10.4.2	原理说明	217

10.4.3	任务及方法	218
10.4.4	预习报告要求	219
10.4.5	实验报告要求	219
10.5	电感、电容的频率特性	219
10.5.1	实验目的	219
10.5.2	原理说明	220
10.5.3	任务及方法	222
10.5.4	预习报告要求	222
10.5.5	实验报告要求	222
10.6	正弦交流电路阻抗、参数的测定	222
10.6.1	实验目的	222
10.6.2	原理说明	223
10.6.3	任务及方法	225
10.6.4	预习报告要求	226
10.6.5	实验报告要求	226
10.7	交流电路中的互感	227
10.7.1	实验目的	227
10.7.2	原理说明	228
10.7.3	任务及方法	230
10.7.4	预习报告要求	230
10.7.5	实验报告要求	230
10.8	串联谐振电路	231
10.8.1	实验目的	231
10.8.2	原理说明	231
10.8.3	任务及方法	233
10.8.4	预习报告要求	234
10.8.5	实验报告要求	235
10.9	二端口网络参数的测定	235
10.9.1	实验目的	235
10.9.2	原理说明	235
10.9.3	任务与方法	237
10.9.4	注意事项	238
10.9.5	实验报告要求	238
10.9.6	仪器设备	238
10.9.7	思考题	239

第 1 章 电路模型和电路理论

1.1 电路和电路模型

实际电路是由电子器件相互连接而构成的。这里的电子器件泛指实际的电路部件,如电阻器、变压器、电容器、电感线圈、晶体管等。在电路中,随着电流的通过,进行着从其他形式的能量转换成电能、电能的传输和分配,以及把电能转换成所需要的其他形式能量的过程。以电力系统为例,发电厂的发电机组把热能、原子能或机械能等转换成电能,通过变压器、输电线等输送给各用户终端,用户端又把电能转换成机械能、光能、热能等。这样构成了一个极为复杂的电路或系统。人们把供给电能的设备称为电源,而把用电设备称为负载。

电路的另一个重要作用是信号的处理。通过电路把输入的信号(称为激励)变成或“加工”成为其他需要的输出(称为响应)。例如,收音机或电视机的调谐电路是用来选择所需要的信号的,而由于通过调谐电路直接收到的信号很微弱,所以需要在调谐电路后面加入放大电路来放大信号。调谐电路和放大电路的作用就是处理激励信号使之成为所需要的响应信号。

电路理论主要研究电路中发生的电磁现象,而用电流、电荷、电压或磁通等物理量来描述其中的过程。电路理论的目标是计算电路中各器件的端电流和端电压,而一般不涉及器件内部发生的物理过程。电路理论中有一个重要的假设:当构成电路的器件及电路本身的尺寸远小于电路工作的电磁波的波长,或者说电磁波通过电路的时间可以认为是瞬时的,则电磁场理论和实践均证明在任意时刻流入各器件任一端子的电流和任两个端子间的电压都是单值的量。在这种近似条件下,用足以反映其电磁性质的一些理想电路元件或它们的组合来模拟实际电路中的器件。这种理想电路元件称为集中参数元件。理想电路元件是具有某种确定的电磁性质的假想元件。它是一种理想化的模型并具有精确的数学意义。电路理论中人们用抽象的理想元件及其组合近似地代替实际的器件,从而构成了与实际电路相对的电路模型。实际电路中各器件的端子是通过导线相互连接起来的,而在电路模型中各理想元件的端子是用“理想导线”联系起来的。

1.1.1 实际电路组成

图 1.1 所示的手电筒电路就是一个最简单的实际电路。它由三部分组成:提供电能的能源,简称电源;用电装置,统称其为负载,它将电能转换为其他形式的能量;中间环节,即连接电源和负载的部分。最简单的中间环节就是导线和开关,起到传输和分配电能或

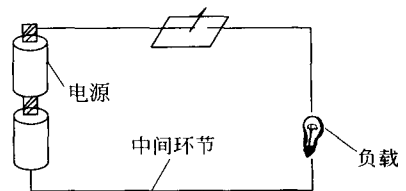


图 1.1 手电筒电路

对电信号进行传递和处理的作用。电源、负载、中间环节是任何实际电路都不可缺少的三个组成部分。

1.1.2 电路模型

理想元件是在一定条件下对实际元件加以理想化,忽略它的次要性质,并用一个足以表征其主要性能的模型来表示它。理想电路元件是组成电路模型的最小单元,是一种理想化的模型且具有精确的数学定义。应当注意电路元件与实际器件的区别。例如,实验室或电子仪器中用的各式各样的电阻器、电容器、线圈、晶体管等,一般都可以用电路元件及其组合来模拟,但两者之间不完全等同。通常在一定的工作条件下,根据实际器件的主要物理功能,可按不同的精确度用电路元件及其组合来模拟。

实际电路中使用的电气元器件,如电阻器、电容器、灯泡、晶体管、变压器等,在电路中将这此元器件用理想的模型符号表示,如图 1.2 所示。

将实际电路中各个部件用其模型符号表示而画出的图形称电路模型图,如图 1.3 所示。

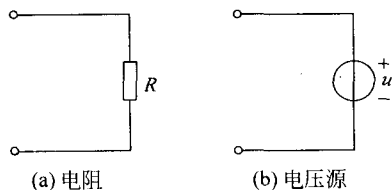


图 1.2 理想模型符号

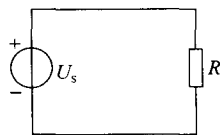


图 1.3 电路模型图

1.2 电流和电压的参考方向

在电路分析中,涉及某个元件或部分电路的电流或电压时,由于电流或电压的实际方向可能是未知的,也可能是随时间变动的。因此,在分析和计算电路时引入了一个重要的概念,即参考方向。

1.2.1 电流及其参考方向

在电场作用下,电荷有规则地移动形成电流,用 i 表示。电流的单位是(A)安[培]。为表示电流的强弱,引入了电流强度这个物理量,用符号 $i(t)$ 表示。电流强度的定义是单位时间内通过导体横截面的电量,即

$$i(t) = \frac{dq}{dt} \quad (1.1)$$

式中, dq 是时间 dt 内通过导体横截面的电荷量。电荷量的单位为 C(库伦),时间的单位为 s(秒),则电流 i 的单位为 A。

如果电流的大小和方向均不随时间的变化而变化,这种电流称为恒定电流,简称直流电