

全国高等职业教育电类专业研究会审定教材

 高职电类精品课程规划教材

电路分析与应用基础

DIANLU FENXI YU YINGYONG JICHU

主 编 王建生 张益农

副主编 任力颖 楼晓春



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

全国高等职业教育电类专业研究会审定教材

高职电类精品课程规划教材

电路分析与应用基础

主 编 王建生 张益农

副主编 任力颖 楼晓春

北京邮电大学出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书是为高等职业教育电类专业的基础课——“电路分析”课程——而编写的教材。根据高职教学以“必须,够用”为度的原则,讲述了电路分析的基础知识以及相关的应用。

本书共有8章,包括:电路的基本定律与简单电路分析,电路的一般分析和叠加定理,电路的等效,一阶动态电路,正弦交流电路,电路的频率响应,耦合电感和理想变压器及三相交流电路。每章最后都着重讲述了与本章知识有关的应用实例,并给出了6个以培养学生学习兴趣和提高综合能力为目的的实训项目。

图书在版编目(CIP)数据

电路分析与应用基础/王建生,张益农主编. —北京:北京邮电大学出版社,2007

ISBN 978-7-5635-1498-4

I. 电… II. ①王…②张… III. 电路分析—高等学校:技术学校—教材 IV. TM133

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 141934 号

书 名: 电路分析与应用基础

编 著: 王建生 张益农

责任编辑: 陈岚岚 李欣一

出版发行: 北京邮电大学出版社

社 址: 北京市海淀区西土城路 10 号(100876)

北方营销中心: 电话 010-62282185 传真 010-62283578

南方营销中心: 电话 010-62282902 传真 010-62282735

E-mail: publish@bupt.edu.cn

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京忠信诚胶印厂

开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16

印 张: 18.5

字 数: 432 千字

印 数: 1—3 000 册

版 次: 2007 年 9 月第 1 版 2007 年 9 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5635-1498-4

定 价: 28.00 元

• 如有印装质量问题,请与北京邮电大学出版社营销中心联系 •

高职电类精品课程规划教材

编审委员会

- 主 任 高 林(北京联合大学副校长)
- 副 主 任 鲁宇红(金陵科技学院副院长)
- 鲍 泓(北京联合大学信息学院院长)
- 孙建京(北京联合大学自动化学院院长)
- 郁建中(金陵科技学院信息技术学院副院长)
- 华永平(南京信息职业技术学院电子信息系主任)
- 杜庆波(南京信息职业技术学院通信工程系主任)
- 黄伟文(宁波职业技术学院华建信息学院副院长)
- 刘连青(北京信息职业技术学院电子工程系主任)
- 朱运利(北京电子科技职业学院工程系主任)
- 刘 威(北京电子科技职业学院电信系主任)
- 姚建永(武汉职业技术学院电信学院院长)
- 章 讯(长江职业学院工学院院长)
- 吕玉明(天津电子信息职业技术学院电子系主任)
- 丁学恭(杭州职业技术学院机电工程系主任)
- 韩春光(宁波大红鹰职业技术学院应用电子系主任)
- 李锦伟(浙江交通职业技术学院信息与管理系主任)
- 倪 勇(浙江机电职业技术学院电子信息工程系主任)
- 龚赤兵(广东水利电力职业技术学院计算机系副主任)
- 朱祥贤(淮安信息职业技术学院信息通信系主任)

委 员 (排名不分先后)

陈传军	许学梅	吴志荣	楼晓春	刘大会
黄一平	王 川	石建华	万少华	冯友谊
何正宏	陈 卉	王建生	任力颖	卢孟夏
李红星	张益农	李 媛	钱琳琳	李永霞
白桂银	马靖宇	杨 菁	齐连运	杨 帆

执行编委 王志宇

高职电类精品课程规划教材

参编院校

北京联合大学

东北电力大学

宁波职业技术学院

北京电子科技职业学院

长江职业学院

天津电子信息职业技术学院

宁波大红鹰职业技术学院

浙江机电职业技术学院

江西九江职业技术学院

常州信息职业技术学院

吉林电子信息职业技术学院

武汉交通职业技术学院

南京交通职业技术学院

金陵科技学院

南京信息职业技术学院

北京信息职业技术学院

武汉职业技术学院

湖北交通职业技术学院

杭州职业技术学院

浙江交通职业技术学院

浙江工商职业技术学院

广东水利电力职业技术学院

淮安信息职业技术学院

沈阳职业技术学院

武汉船舶职业技术学院

南京正德职业技术学院

前 言

本教材是为高职电类专业学生的专业基础课——“电路分析”基础课——编写的。其目的是为后续课程的学习和以后实际工作打下有关电路的知识基础。

根据高职教学以“必须,够用”为度的原则,本书精选电路理论中最基本、最核心、应用最普遍的内容,这些内容既能在以后的学习和工作中有切实的应用,又能为学生自我进修扩展知识打下必要的基础。

本书内容安排上,力求主次分明,详略得当;在讲述方法上,突出基本知识的物理概念,简化烦琐的公式推导,力求做到循序渐进,深入浅出,简明易懂;恰当运用图表提高直观性和趣味性。

在分析方法的讲述中,力求讲清其适用范围,正确运用的要点和可能出现的问题,使读者在应用时能做到正确和规范。

为了突出高职教材的应用性,加强与后续课程的联系,本书作了如下安排:

1. 每一章设置一节专门讲述该章重点内容在实际中常见的作用和应用,以求使学生能大致了解所学知识在实际中可能起的作用和用途,日后遇到相关问题能在所学知识中学会寻找解决问题的方案。

2. 为了使学生不仅了解所学内容的应用,而且能随时地体验到所学知识的正确性和实用性,多数章节最后介绍并分析一种结构简单、用当前知识就能分析计算、便于搭建和测试的实用电路单元,此部分内容可作为实验或实训的选题。

3. 结合以上电路,设置了若干实训内容,旨在提出一种方案,把电路原理的验证和实用电路的搭建测试及计算机仿真结合为一体,提高学生的学习兴趣和综合能力。其中只提出实训的内容和目的,具体实施方法应根据实际实训设备和条件而定。

本书第1、3、5章分别由北京联合大学信息学院卢孟夏、邹尔宁、任力颖编写,第2、6章分别由北京联合大学自动化学院张益农、钱琳琳编写,第4章由杭州职业技术学院楼晓春编写,第7章由湖北交通职业技术学院杨菁编写,第8章由长江职业学院李德明编写,北京联合大学信息学院王建生编写了其中的1.10、1.11、2.6、4.8、5.7、5.8、6.7节,并作统稿工作。北京联合大学信息学院刘维恒老师仔细审阅了有关实际电路的内容,并提出许多宝贵意见。

本书的编写过程中,得到参编老师所在单位领导的大力支持和帮助,参编的各位老师繁重的日常工作中,不辞辛苦,积极配合,共同努力按时完成了本书的编写任务,在此,对所有支持和参与本书编写的领导和老师致以由衷的感谢。

因时间紧迫,水平有限,疏漏和错误在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

目 录

第 1 章 电路的基本定律与简单电路分析

1.1 电路和电路模型	1
1.1.1 电路的组成和作用	1
1.1.2 电路模型	1
1.2 电路的基本变量	2
1.2.1 电流	2
1.2.2 电压	3
1.2.3 关联参考方向	5
1.2.4 功率	5
自 测 题	7
1.3 基尔霍夫定律	7
1.3.1 几个名词介绍	7
1.3.2 基尔霍夫电流定律	8
1.3.3 基尔霍夫电压定律	9
1.3.4 几点重要说明	11
1.3.5 元件串并联	11
自 测 题	11
1.4 电阻元件	12
1.4.1 线性电阻与欧姆定律	12
1.4.2 非线性电阻	14
1.4.3 开路和短路	15
自 测 题	15
1.5 电压源和电流源	16
1.5.1 电压源	16
1.5.2 电流源	17
1.5.3 电压源和电流源的功率	18
1.5.4 电动势	19
1.5.5 实际电源的模型	20
自 测 题	21
1.6 受 控 源	21
1.6.1 受控源的引入	21

1.6.2	4种受控源	21
1.6.3	举例与说明	22
	自 测 题	24
1.7	电器设备的额定值	24
1.7.1	额定值的概念	24
1.7.2	根据额定值正确选择、使用实际元件和设备	24
	自 测 题	25
1.8	电阻的串联分压与并联分流	25
1.8.1	串联电阻的分压公式	25
1.8.2	并联电阻的分流公式	26
1.8.3	分压电路举例	27
1.8.4	分压分流公式与参考方向	28
1.8.5	电阻混联电路	29
	自 测 题	29
1.9	电位的计算	30
1.9.1	参考点的概念	30
1.9.2	电位的计算	30
1.9.3	电子线路的习惯画法	31
	自 测 题	32
1.10	线性电阻在实际电路中的应用	32
1.10.1	电流表与电压表的分流与分压	32
1.10.2	电压电流的转换	34
1.10.3	限流与限压	35
1.11	含理想运算放大器的简单电阻电路	37
1.11.1	理想运算放大器	37
1.11.2	虚短路和虚断路	38
1.11.3	含运算放大器的简单电路分析举例	38
	自 测 题	41
实训一	含运算放大器的简单电路	41
习 题 一		41

第2章 复杂电路的一般分析及叠加定理

2.1	支路电流法	48
2.1.1	支路电流法	48
2.1.2	支路电流法的计算步骤	49
2.1.3	例题	50
	自 测 题	51
2.2	网孔分析法	51



2.2.1 网孔电流与网孔分析法	51
2.2.2 网孔方程的建立	52
2.2.3 例题	53
自 测 题	55
2.3 节点分析法	55
2.3.1 节点电压和节点分析法	56
2.3.2 节点方程的建立	57
2.3.3 例题	58
自 测 题	61
2.4 叠加定理	61
2.4.1 齐次性和叠加性	62
2.4.2 叠加定理	63
2.4.3 例题	63
自 测 题	66
2.5 叠加定理在数/模转换中的应用	66
2.6 理想运放组成的加减法电路	69
2.6.1 用叠加定理分析加法电路	69
2.6.2 用节点分析法分析减法电路	72
自 测 题	74
实训二 运算放大器组成的加减法电路	74
习 题 二	74

第3章 电路的等效

3.1 等效电路的概念及等效电阻	80
3.1.1 等效电路的概念	80
3.1.2 等效电路的定义	81
3.1.3 电阻串并联的等效电阻	81
3.1.4 利用串并联电阻等效公式化简电路	82
自 测 题	86
3.2 常用等效变换规律及公式	87
3.2.1 两个元件串并联等效规律	87
3.2.2 实际电源两种模型的等效变换	89
3.2.3 例题	90
3.2.4 含受控源电路的等效变换	92
自 测 题	94
3.3 T形网络和 Π 形网络的等效变换	94
3.3.1 T形网络和 Π 形网络的等效变换	94
3.3.2 例题	96

3.3.3 电桥电路	96
自 测 题	97
3.4 戴维南定理和诺顿定理	97
3.4.1 戴维南定理和诺顿定理	98
3.4.2 例题	99
3.4.3 R_0 的计算	100
3.4.4 重要说明	102
自 测 题	103
3.5 最大功率传输定理	103
3.5.1 最大功率传输定理	103
3.5.2 例题	104
3.5.3 重要说明	104
自 测 题	105
3.6 等效电路在实际电路分析与测量中的应用举例	105
3.6.1 放大电路的输入电阻和输出电阻	105
3.6.2 电压表内阻对测量结果的影响	106
3.6.3 放大器输入电阻和输出电阻的测量	106
自 测 题	107
3.7 放大电路输入电阻对输出电压的影响及电压跟随器	108
3.7.1 反相比例放大电路输入电阻对输出电压的影响	108
3.7.2 电压跟随器	110
自 测 题	112
实训三 输入输出电阻在电路中的作用及电压跟随器	112
习 题 三	113

第4章 一阶动态电路

4.1 电 容 元 件	118
4.1.1 电容的基础知识	118
4.1.2 电容的伏安特性	119
4.1.3 电容元件储存的电场能	120
4.1.4 电容元件的连接	121
自 测 题	123
4.2 电 感 元 件	124
4.2.1 电感的基础知识	124
4.2.2 电感的伏安特性	125
4.2.3 电感元件储存的磁场能	125
4.2.4 电感元件的连接	125
自 测 题	127



4.3 换路定律	128
4.3.1 换路定律	128
4.3.2 初始值的计算	129
自 测 题	130
4.4 一阶电路的零输入响应	131
4.4.1 一阶 RC 电路的零输入响应	131
4.4.2 RL 电路的零输入响应	134
4.4.3 一阶电路零输入响应的特性	135
自 测 题	136
4.5 一阶电路的零状态响应	136
4.5.1 RC 电路的零状态响应	137
4.5.2 RL 电路的零状态响应	138
4.5.3 一阶电路零状态响应的特性	139
自 测 题	139
4.6 一阶电路的全响应	139
4.6.1 引例	139
4.6.2 一阶电路全响应的分析	140
4.6.3 三要素法	141
自 测 题	142
4.7 一阶电路的作用与应用举例	143
4.7.1 矩形脉冲通过 RC 电路	143
4.7.2 补偿分压电路	144
4.7.3 锯齿波发生电路	146
4.7.4 继电器延时电路	147
4.7.5 过渡过程用于测量	147
自 测 题	149
4.8 由理想运算放大器组成的积分电路和微分电路	149
4.8.1 基本积分电路	149
4.8.2 基本微分电路	150
实训四 微分和积分电路	152
习 题 四	152

第5章 正弦交流电路

5.1 正弦电压和电流及有效值	155
5.1.1 正弦电压和电流的表示	155
5.1.2 相位差	159
5.1.3 有效值	161
自 测 题	162



5.2 相 量	162
5.2.1 复数及运算	162
5.2.2 相量	164
自 测 题	166
5.3 交流电路中的基本元件及特性	167
5.3.1 电阻元件	167
5.3.2 电容元件	167
5.3.3 电感元件	168
5.3.4 小结	169
5.3.5 例题	169
自 测 题	170
5.4 基尔霍夫定律的相量形式	170
5.4.1 基尔霍夫定律的相量形式	171
5.4.2 例题	171
自 测 题	173
5.5 阻抗与导纳及相量模型	173
5.5.1 阻抗与导纳	173
5.5.2 相量模型	175
5.5.3 无源单口网络的阻抗和导纳	177
自 测 题	179
5.6 正弦交流电路的计算	180
5.6.1 混联电路的计算	180
5.6.2 网孔法和节点法	181
5.6.3 戴维南定理	182
5.6.4 叠加定理	183
5.6.5 电源模型的等效变换	184
自 测 题	185
5.7 正弦交流电路的功率	185
5.7.1 R 、 L 、 C 3 种基本元件的功率	185
5.7.2 单口网络的功率	188
5.7.3 功率因数的提高	190
5.7.4 最大功率传输定理	192
自 测 题	193
5.8 正弦量之间的相位关系在实际问题中的作用举例	194
5.8.1 放大电路中的负反馈和正反馈	194
5.8.2 正弦波振荡电路的振荡条件	195
5.8.3 线性系统的无失真传输条件	196
自 测 题	197



5.9 电容的隔离直流和交流旁路作用	198
5.9.1 电容在电路中的隔离直流作用	198
5.9.2 电容在电路中的交流旁路作用	199
自 测 题	200
实训五 直流和交流信号同时输入的加法电路	201
习 题 五	201
 第 6 章 电路的频率响应	
6.1 电路的频率响应	205
6.1.1 网络函数与频率响应	205
6.1.2 网络函数的类型	205
6.1.3 简单 RC 电路的频率响应	207
自 测 题	209
6.2 谐振电路	209
6.2.1 RLC 串联谐振电路	210
6.2.2 RLC 并联谐振电路	215
自 测 题	218
6.3 非正弦周期信号激励下的稳态分析	218
6.3.1 非正弦周期信号表示为傅里叶级数	218
6.3.2 周期性非正弦信号的有效值和平均功率	219
6.3.3 周期性非正弦稳态电路分析	220
自 测 题	222
6.4 谐振电路实际应用	223
6.4.1 用谐振电路选出有用信号	223
6.4.2 用谐振电路滤除不需要的频率成分	224
6.4.3 电源内阻及负载对串联谐振电路通频带的影响	225
6.5 简单有源滤波电路	226
6.5.1 有源低通滤波电路	226
6.5.2 有源高通滤波电路	228
自 测 题	230
实训六 简单的有源滤波电路	230
习 题 六	230
 第 7 章 耦合电感和理想变压器	
7.1 耦 合 电 感	233
7.1.1 互感现象	233
7.1.2 互感电压	234
7.1.3 同名端	235



7.1.4 耦合互感的 VCR	236
自 测 题	237
7.2 耦合电感的连接及其电路分析	237
7.2.1 耦合电感的串联及其电路分析	238
7.2.2 耦合电感的并联及其电路分析	239
7.2.3 其他情形	240
自 测 题	242
7.3 理想变压器	243
7.3.1 理想变压器的 3 个理想条件	244
7.3.2 理想变压器的作用	244
自 测 题	246
7.4 含理想变压器电路的分析	246
7.4.1 理想变压器的受控源模型等效	246
7.4.2 含理想变压器电路的分析举例	246
自 测 题	248
7.5 耦合电感和理想变压器的常见作用与应用	249
习 题 七	250

第 8 章 三相交流电路

8.1 三相交流电源	252
8.1.1 三相电动势的产生	252
8.1.2 三相交流电源的星形连接	253
8.1.3 三相电源的三角形连接	254
自 测 题	255
8.2 三相电路负载的连接方式	255
8.2.1 对称负载的星形连接	255
8.2.2 对称负载的三角形连接	257
8.2.3 不对称三相负载	259
自 测 题	260
8.3 三相电路的功率	260
8.3.1 三相交流电路的功率计算	260
8.3.2 三相交流电的瞬时功率	261
8.3.3 交流电路的功率测量	262
自 测 题	263
8.4 三相交流电路负载连接的应用	264
8.4.1 220 V 三相对称负载的连接	264
8.4.2 380 V 三相对称负载的连接	265
8.4.3 220 V 单相负载的连接方法	265



自 测 题.....	266
8.5 安 全 用 电	266
8.5.1 低压配电系统介绍	266
8.5.2 触电方式	267
8.5.3 触电的预防	268
8.5.4 接地保护和接零保护	268
自 测 题.....	270
习 题 八.....	270
部分习题答案.....	272
参考文献.....	277

电路的基本定律与简单电路分析

第1章

本章首先讲述什么是电路和电路模型,为什么要建立电路模型;如何用参考方向正确表示电路中的电压和电流;电路中电压和电流必须遵守的基本规律——基尔霍夫定律;然后提出了构成电路的最基本的元件——电阻元件、电压源和电流源,重点讲述了它们的特性;进而说明如何用以上知识进行简单电路的分析计算,着重分析了基本的分压和分流电路,最后综合运用含运算放大器的简单电路。

1.1 电路和电路模型

1.1.1 电路的组成和作用

电不但在生产、科研和国防等事业中有广泛的应用,而且与人们的日常生活紧密相关。在应用电的时候,要根据需求把一些电器件按一定方式连接在一起,这些相互连接在一起的电器件就构成了电路。

电路的最简单的例子是手电筒电路,它由干电池、灯泡、手电筒壳组成。干电池是提供电能的电源,它是能够把化学能转变为电能的器件。灯泡是消耗电能的器件,叫做负载,它能把电能转变为热能,使灯丝白炽化而发热和光。手电筒壳是连接导体,把干电池和灯泡连接起来构成电流的通路,把电源的电能传送给负载。手电筒电路虽然很简单,但它说明了一般电路的基本组成,即电源、负载和传输设备3部分。

电路的作用大体可分为两类:①进行能量的传输、分配和转换,如供电电路;②进行信息的传递、处理或运算等,如电话线路。由于电路要实现的目的不同,对它们提出的技术要求也不同。尽管电路的复杂程度不同、功能不同,却都遵循共同的基本规律。本课程将讲述电路遵循的基本规律和基本分析方法,并培养与之相关的实际操作能力。

1.1.2 电路模型

电路的工作过程与电磁现象密切相关。电磁现象基本上可分为3类:电能的消耗现象、电场能的存储现象和磁场能的存储现象。比如,电流流过线圈时必然受到阻力,一部分电能被消耗而转变成热能;线圈周围必然产生磁场,存储磁场能;线圈匝与匝之间形成电容必有电场存在,存储电场能。这3种电磁现象同时存在于整个线圈之中并交织在一起。电路中3种电磁现象的并存使对电路的分析非常复杂。为了分析方便,可以用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。每种理想元件只表示一种电磁现



象,而且可以用数学方法精确定义,以便对电路进行分析研究乃至精确的数量计算。图 1-1 表示了 3 种基本理想元件的图形符号,图中的电阻元件、电感元件和电容元件分别表示电能消耗、存储磁场能和存储电场能的理想元件。

在一定条件下,用一个理想元件或几个理想元件的组合作为一个实际电器件的模型,来近似地表征其性能。如电阻器、白炽灯和电熨斗主要作用都是把电能转换为热能,因此都可用一个电阻元件做其模型。

一个实际的线圈主要作用是建立磁场存储磁场能,当电能的消耗不能忽略,而电场能的存储可以忽略时,就要用一个理想的电感元件和一个理想的电阻元件的组合做其模型,如图 1-2 所示。

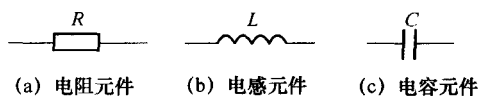


图 1-1 3 种基本理想元件的图形符号

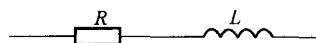


图 1-2 电感线圈的电路模型

对一个实际电路进行分析,首先把每一个实际电器件用由理想元件构成的模型来表示,

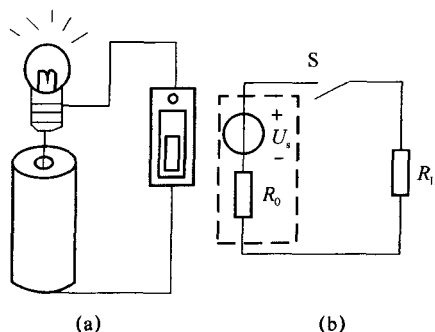


图 1-3 手电筒电路

这样就构成整个实际电路的模型。对电路模型进行分析计算,就近似得到实际电路的特性。要构成电路的模型只有以上 3 种基本的理想元件是不够的,本书将陆续讨论其他理想元件的定义和特性。为叙述方便,将省略理想二字,以后文中提到的元件均指理想元件。

对电路进行理论分析计算时,电路常用电路图来表示。电路图是由元件的图形符号和表示它们之间连接关系的连线组成。手电筒的实际电路和电路图(电路模型)分别绘于图 1-3

(a)、(b)中。图(b)中 R_L 为灯泡的模型,虚线框内为干电池的模型, S 表示开关。

1.2 电路的基本变量

1.2.1 电流

1. 电流和电流强度

分析研究电路时主要关心的是运动的电荷。从物理学中已经知道物体所带电荷数量的多少称为电量,用符号 Q 或 q 表示。在国际单位制(SI)中,电量的单位是库仑(C)。1 库仑等于 6.24×10^{18} 个电子所具有的电量。电荷的定向移动形成电流。由于电荷有正电荷和负电荷之分,习惯上把正电荷运动的方向规定为电流的方向。电流的大小用电流强度来表示。电流强度的定义是单位时间内通过导体横截面的电量。电流强度简称为电