

高职高专院校教材

电路分析 简明教程

**Circuit
Analysis**
Simple Tutorial

陈玮 编著

学林出版社



世纪出版

上架建议：高等教育

ISBN 978-7-5486-0388-7



9 787548 603887 >

定价：58.00元

易文网：www.ewen.cc

高职高专院校教材

电路分析 简明教程

**Circuit
Analysis
Simple Tutorial**

陈玮 编著

学林出版社

图书在版编目(CIP)数据

电路分析简明教程 / 陈玮编著. —上海:学林出版社,
2012.9

ISBN 978-7-5486-0388-7

I. ①电... II. ①陈... III. ①电路分析—高职高专院校—教材 IV. ①TM133

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 178278 号

电路分析简明教程



编 著——陈 玮

责任编辑——吴伦仲

特约编辑——刘小莉

封面设计——陈 新

出 版——上海世纪出版股份有限公司

学林出版社(上海钦州南路 81 号 3 楼)

(电话:64515005 传真:64515005)

发 行——上海世纪出版股份有限公司发行中心

(上海福建中路 193 号 www.ewen.cc)

照 排——上海教育出版社经营有限公司

印 刷——上海豪杰印刷有限公司

字 数——40 万

开 本——787×1092 1/16

印 张——17

版 次——2012 年 9 月第 1 版

2012 年 9 月第 1 次印刷

书 号——ISBN 978-7-5486-0388-7/G·109

定 价——58.00 元

(如发生印刷、装订质量问题,读者可向工厂调换。)

序

电路分析是电路学的基础,是电子工程、通信工程、微电子以及信息工程等专业的必修课程,即使在信息技术非常先进和发达的今天,电路分析作为一项传统的技术并没有落后或淘汰,反而成为一种经典,成为攀登新技术高峰所必不可少的基石。从学术和技术发展规律看亦然,基础扎实程度决定了能够达到的高度。

虽然作为一门很成熟的课程,各类教材比较丰富,但是《电路分析简明教程》的出版还是很有必要的。其一,“教程”涵盖了电路分析的所有教学内容,具有全面性,具备作为课程教材的素质和品质;其二,“教程”并未简单照搬现有教材的内容,而是根据高职高专类学生的特点和教学大纲的要求进行重新编排和合理组织,突出核心内容,深浅有度,因此针对性很强;其三,“教程”作者具有多年的教学经验,在内容组织和取舍上显得有的放矢,尤其是在每一章理论学习的基础上,设计了相关的实验,做到理论与实践的有机结合,使学习者对每个知识点既有理性认识,又有感性体会,有效地增强了学习效果。

复旦大学 凌 力

2012.5

前 言

电路分析是一门专业技术课程。课程主要以应用为目的,力求使高职高专学生掌握必需的电工与电子技术的基本知识和基本技能,为增强适应职业变化的能力和继续学习的能力打下一定的基础。

本着必要、够用、实用的原则,本书对电路分析课程中的重点与核心内容精心编排与组织,力求做到基本概念表达准确清楚,理论与实践相结合。本书结合现今高职教育培养应用型人才的需要,在每章前都有“学习指导”,提出该章节的学习重点与任务;在章节后,设有“动手实践”的实验内容,指引学生从实践的角度出发,自行动手去验证一些定理与理论。

教材共分八章,主要内容包括:第1章,电路的基本概念与定理,介绍了电路模型、电路中的基本物理量、基尔霍夫定理的应用以及电源种类与工作状态;第2章,直流电路分析,介绍了分析直流电路的分析方法与一些经典算法,主要有支路电流法、节点电压法、叠加定理、电源的转换、戴维南与诺顿定理等;第3章,正弦交流电路,介绍了正弦交流电的基本特征、利用相量进行分析正弦交流电路中的电压、电流与电功率、功率因数的提高、谐振电路、并简要阐述了非正弦交流电路;第4章,三相交流电路,在正弦交流电路的基础上介绍了三相交流电源、三相星形与三角形负载、三相交流电路的分析与计算以及三相功率;第5章,二端口网络,介绍了二端口网络的基本定义、二端口网络的参数方程、二端口网络的级联与等效;第6章,磁路与变压器,介绍了磁路的基本物理量与特性、磁路分析的方法、变压器的原理与变换;第7章,线性动态电路的时域分析,主要针对一阶动态电路介绍了过渡过程与换路定理、动态电路的零输入响应、零状态响应,以及利用三要素法求解一阶动态电路的全响应;第8章,拉普拉斯变换在电路分析中的应用,介绍了拉普拉斯变换与性质、利用拉普拉斯变换求解微分方程以及电路S域的分析与计算。

本教材可以作为高职高专电子信息工程、通信工程、机电维修、微电子、电气自动化、航空电子等相关专业的电路学教材,也可作为自学的参考教材。

本书由上海民航职业技术学院民航工程系陈玮编著,复旦大学信息科学与工程学院凌力副教授、上海民航职业技术学院罗玉梅副教授共同审阅与修改。同济大学职业技术教育学院王云峰博士、同济大学电子与信息工程学院实验中心陈捷老师也参与和指导了本书的

编写工作。同时,本书的编写也得到了作者所在学院领导孙暄副校长以及徐东华老师、周珺老师的大力支持和关心,在此对他们表示衷心的感谢。

由于作者水平有限,编写时间仓促,书中难免有错误与不当之处,恳请广大读者与有关专家批评指正。

陈 玮

2012 年 4 月

目 录

第 1 章 电路的基本概念和定理	1
1.1 电路与电路模型	1
1.1.1 电路	1
1.1.2 电路模型	2
1.2 电路的基本物理量	3
1.2.1 基本物理量与参考方向	3
1.2.2 电阻元件的伏安关系	7
1.2.3 电路端口的连接方式	9
1.3 电源	13
1.3.1 理想电压源	13
1.3.2 理想电流源	15
1.3.3 受控源	17
1.4 电功率和电能	19
1.4.1 电功率和电能的关系	19
1.4.2 电气设备的额定值	20
1.5 基尔霍夫定律	21
1.5.1 电路中几个常用名词	21
1.5.2 基尔霍夫电流定律	22
1.5.3 基尔霍夫电压定律	24
1.6 电路中电位的分析与计算	28
1.7 动手实践	33
1.7.1 电路中电位的测量	33
1.7.2 基尔霍夫定律的验证	34
本章小结	36
习题 1	37
 第 2 章 直流电路分析	 41
2.1 电阻的等效	41

2.1.1	电阻的串联、并联与混联	41
2.1.2	星形和三角形电阻网络的等效变换	47
2.2	支路电流法	49
2.3	节点电压法	52
2.3.1	节点电压法	52
2.3.2	弥尔曼定理	56
2.4	叠加定理	58
2.4.1	叠加定理	58
2.4.2	齐性定理	61
2.5	实际电源模型的等效变换	63
2.5.1	实际电压源模型	63
2.5.2	实际电流源模型	64
2.5.3	实际电源两种模型的等效变换	64
2.5.4	电源支路的串、并联	66
2.6	戴维南定理与诺顿定理	69
2.6.1	二端网络	69
2.6.2	戴维南定理	70
2.6.3	诺顿定理	73
2.7	负载获得最大功率的条件	75
2.8	含受控源电路的分析例举	77
2.8.1	含受控源的节点电压法分析	77
2.8.2	含受控源的叠加定理分析	78
2.8.3	含受控源的戴维南定理分析	79
2.9	动手实践	81
2.9.1	叠加原理的验证	81
2.9.2	戴维南定理的验证	82
	本章小结	83
	习题 2	86
第 3 章	正弦交流电路	93
3.1	正弦交流电的基本概念	93
3.1.1	正弦量的三要素	93
3.1.2	正弦量的有效值	95
3.1.3	正弦量的相位差	97

3.2 两种储能元件	99
3.2.1 电感元件	99
3.2.2 电容元件	100
3.3 相量法	101
3.3.1 复数与其运算	101
3.3.2 正弦量的相量表示法	103
3.4 单一参数交流电路	105
3.4.1 电阻元件的伏安相量关系	105
3.4.2 电感元件的伏安相量关系	107
3.4.3 电容元件的伏安相量关系	109
3.5 相量形式的基尔霍夫定律的相量形式	111
3.6 RLC 串联电路分析	113
3.6.1 RLC 串联电路伏安关系	114
3.6.2 RLC 串联电路的相量图与电路性质	115
3.6.3 RLC 串联电路的功率	117
3.7 阻抗的串联与并联	118
3.7.1 阻抗的串联	118
3.7.2 阻抗的并联	119
3.8 RLC 并联电路分析	121
3.8.1 RLC 并联电路的伏安关系	121
3.8.2 RLC 并联电路的相量图与电路性质	123
3.8.3 RLC 并联电路的功率	125
3.9 复杂正弦交流电路的分析例举	127
3.10 功率因数的提高	132
3.10.1 提高功率因数的意义	132
3.10.2 提高功率因数的方法	132
3.11 电路的谐振	134
3.11.1 串联谐振	134
3.11.2 并联谐振	139
3.12 非正弦周期信号的电路分析	143
3.12.1 非正弦周期信号的合成与分解	143
3.12.2 非正弦周期信号的平均值、有效值和负载电路的平均功率	145
3.13 动手实践	147
3.13.1 交流电路元件参数的测量	147

本章小结	149
习题 3	151
第 4 章 三相交流电路	156
4.1 三相正弦交流电源	156
4.1.1 对称三相电源	156
4.1.2 三相电源的连接	158
4.2 三相负载的连接	161
4.2.1 三相负载的星形接法电路分析	161
4.2.2 三相负载的三角形接法电路分析	165
4.3 三相电路的功率	167
4.4 动手实践	168
4.4.1 三相交流电路星形接连电压、电流测量	168
本章小结	169
习题 4	170
第 5 章 二端口网络	173
5.1 二端口网络的一般概念	173
5.2 二端口网络的基本方程和参数	175
5.2.1 阻抗方程和 Z 参数	175
5.2.2 导纳方程和 Y 参数	177
5.2.3 传输方程和 T 参数	178
5.2.4 混合方程和 H 参数	181
5.3 二端口网络连接和等效	182
5.3.1 二端口网络的串联	182
5.3.2 二端口网络的并联	183
5.3.3 二端口网络的级联	184
5.3.4 二端口网络的等效	186
本章小结	189
习题 5	190
第 6 章 磁路与变压器	193
6.1 铁磁性物质	193

6.1.1	磁场的基本物理量	193
6.1.2	铁磁性物质的分类与特性	194
6.2	磁路的分析方法	196
6.2.1	磁路与磁路欧姆定理	196
6.2.2	磁路的基尔霍夫定理	198
6.3	交流铁心线圈	199
6.3.1	电压与磁通的关系	199
6.3.2	铁心的损耗	200
6.4	变压器	201
6.4.1	变压器端口电压、电流之间的关系	201
6.4.2	变压器的阻抗变换	202
6.4.3	变压器的外特性	204
6.4.4	变压器的损耗与效率	204
6.5	特殊变压器	205
6.5.1	电压互感器	205
6.5.2	电流互感器	206
本章小结		207
习题 6		209
第 7 章	线性动态电路的时域分析	211
7.1	过渡过程的基本概念	211
7.1.1	换路定理	212
7.1.2	初始值的计算	213
7.2	RC 电路过渡过程	214
7.2.1	RC 电路零输入响应	214
7.2.2	RC 电路零状态响应	217
7.3	RL 电路的过渡过程	221
7.3.1	RL 电路零输入响应	221
7.3.2	RL 电路零状态响应	224
7.4	一阶电路全响应	226
7.5	一阶电路的三要素法	230
本章小结		236
*习题 7		237

第 8 章 拉普拉斯变换在电路分析中的应用	239
8.1 拉普拉斯变换与性质	239
8.1.1 拉普拉斯变换	239
8.1.2 拉普拉斯的主要性质	241
8.2 应用拉普拉斯变换求解微分方程	243
8.3 电路 S 域模型的分析	247
本章小结	255
习题 8	256
参考文献	259

第 1 章

电路的基本概念和定理

学习指导：

- 了解电路与电路模型的意义；
- 理解电路中基本物理量电压、电流参考方向的意义并能熟练应用，以及电功率的意义；
- 理解电压源、电流源与受控源的意义，并理解电源工作的三种状态；
- 掌握基尔霍夫定律，并能利用基尔霍夫定律求解电路中的电压与电路；
- 掌握电路中各点电位的计算与分析的方法。

1.1 电路与电路模型

1.1.1 电路

在生活、工作和学习中，人们接触与应用着各种的电路，甚至在生活中已经无法离开这些数量繁多的电路。电路(circuit)是电流的通路，由电气设备和元器件按一定方式连接组合起来，用以完成或解决某种功能的物质实体。有时非常复杂的电路也叫网络(network)。

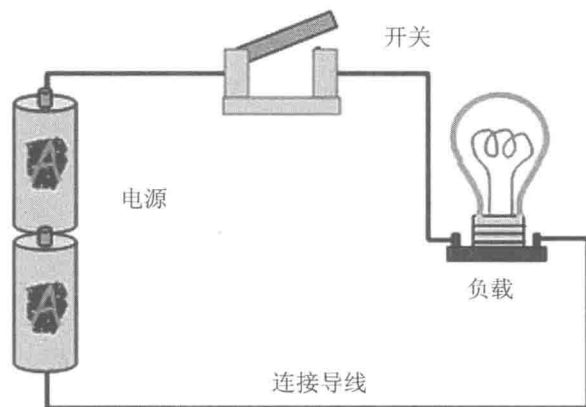


图 1.1.1 手电筒电路

电路根据功能可以分为两类。一类用来实现电能的传输与转换,如电力系统,它可以有电源(electric source)、负载(load)和中间环节(intermediate links)三部分构成。其中,电路中供给电能的设备和器件称为电源,电路中使用电能的设备或元器件称为负载,变压器、电线、开关等一些设备成为中间环节。如图 1.1.1 就是一个简单的使用电路,即手电筒电路,这个电路由一个电源(干电池)、一个负载(小灯泡)、一个开关和连接导线(中间环节)所组成。

另一类用来实现信号的传递和处理。如扩音机,它先把微小的声音信号转化成电信号(电压和电流),然后通过放大器放大,最后通过扬声器输出。信号的处理主要指放大、滤波、变频、调谐等。关于信号的传递和处理可以在模拟电子以及信号系统学科中了解到,在此就不再赘述了。本书主要以电能的传输与转换作为研究的主要方向。

在电路中电源或者信号源的电压或电流称为激励,它使得电路工作;激励在电路各部分产生的电压与电流称为响应;激励与响应可以理解为因果关系。电路分析就是在某些电路结构和元件参数的条件下,分析、讨论、研究电路激励与响应之间的关系。

1.1.2 电路模型

由于实际电路中的元件种类繁多,为了便于对电路进行分析计算和用数学表征,常把实际的元件理想化,在一定的条件下忽略其次要性质,突出其主要的电磁特征,即用理想元件来表示。由这些理想元件所组成的电路,就称为电路模型。它既是实际电路电磁性质的科学抽象,也是一种理想元件的参数与约束关系的数学模型。例如,可以用“电阻元件”这样一个理想电路元件来反映消耗电能的特征,因为当电流通过电阻器时,在它内部进行着把电能转换成热能。通常电阻器、电烙铁、电路等实际电路元器件,都可以用“电阻元件”这个模型来近似地表示,这是因为这些电路元件在电磁约束关系上相同。同样,在一定条件下,线圈可以用“电感元件”来近似地表示;电容器可以用“电容元件”来近似地表示。

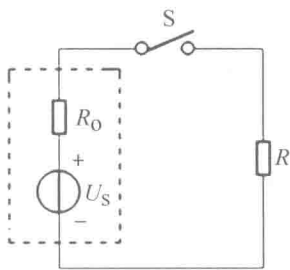


图 1.1.2 手电筒电路模型

图 1.2.1 为图 1.1.1 的电路模型。之后书中未加另外说明时,所说的电路均指这种抽象的电路模型,所说元件均指理想元件。电路元件用规定的图形符号来表示。

在电路模型中有三个物理量是分析研究的主要对象,即电压、电流和电功率。很多情

况下分析它们在电路模型中的大小、相互关系与算法,能更好地帮助我们了解电路与分析电路。

1.2 电路的基本物理量

1.2.1 基本物理量与参考方向

在电路分析中,电路的基本物理量分为两种:基本变量和基本合成量。电路的基本变量有四个:电流、电压、电荷和磁通。其中最常用的有电流和电压。电流的基本合成量有电功率和电能。

1. 电流

在物理学中可以知道,电荷的定向移动形成了电流(current)。电流的实际方向是指正电荷运动的方向,电流的大小则用电流强度(current intensity)来表示,电流强度指单位时间内通过导体横截面的电荷量。电流强度又称为电流。

大小和方向均不随时间改变的电流称为恒定电流,简称直流(direct current),写作 dc 或 DC,其强度用符号 I 表示。大小和方向都随时间变化,称为变动电流,其强度用符号 i 表示。其中一个周期内电流的平均值为零的变动电流则称为交变电流,简称交流(alternating current),写作 ac 或 AC,其强度也用符号 i 来表示。

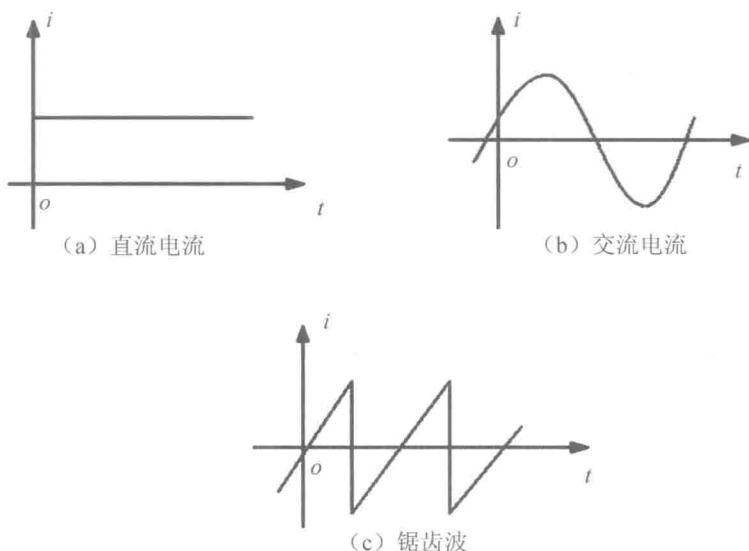


图 1.2.1 几种常见电流

图 1.2.1 中所示是几种常见电流,(a)为直流,(b)、(c)均为交流。