



高等职业教育“十一五”规划教材

高职高专电子信息类系列教材

电路分析与应用

崔延主编

免费提供电子课件



科学出版社
www.sciencep.com

高等职业教育“十一五”规划教材

高职高专电子信息类系列教材

电路分析与应用

崔 延 主 编

朱利军 李淑萍 王 鑫 副主编

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书系统地讲述了电路中的基本概念、基本理论、基本分析和计算方法。全书共分7个单元,主要内容有电路的基本认识、电阻电路的等效变换、直流电路的分析、运算放大器的基本认识、动态电路设计、正弦稳态电路分析和平衡三相电路分析。每个单元都围绕一些具体的应用内容展开,直到分析其应对策略,是一个完整工作任务的分析,且融入了现代计算机仿真技术的应用,充分体现了当代职业教育的特点。

本书按照循序渐进、理论联系实际的原则进行编写,内容适量、实用,叙述简练,概念清晰,通俗易懂。对于电路的分析求解,步骤清楚,讲解透彻。

本书可作为电子、电气、通信、自动化、计算机、机电等专业的高职高专电路理论教材使用,也可供电力、电信等行业的工程技术人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

电路分析与应用/崔延主编. —北京:科学出版社,2010
(高等职业教育“十一五”规划教材·高职高专电子信息类系列教材)
ISBN 978-7-03-027848-7

I. ①电… II. ①崔… III. ①电路分析-高等学校:技术学校-教材
IV. ①TM133

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第103611号

责任编辑:孙露露 李 伟/责任校对:刘玉靖
责任印制:吕春珉/封面设计:东方人华平面设计部

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新蕾印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2010年7月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2010年7月第一次印刷 印张:17

印数:1-3 000 字数:382 000

定价:28.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换<新蕾>)

销售部电话:010-62134988 编辑部电话:010-62138978-8212

版权所有,侵权必究

举报电话:010-64030229; 010-64034315; 13501151303

前言

在高职高专院校的课程设置中,电路分析理论课是电子、计算机等专业的专业基础课。这门课程既要求突出理论教学,同时又要兼顾实践性。随着国家对高等职业教育的定位的转变,即由原来含糊的大专教育转变为应用技术教育,各门学科向应用技术拓展也成为必然。电路理论课作为专业课程的基础,教学工作也必须在应用技术上下工夫。

电路分析课程是学生接触有关电子工程方面知识的第一门课程。为了便于学生学习,本书安排了7个单元的内容,每个单元都包含一个或几个完整具体的工作任务,这些任务都是与该章知识点紧密相关的应用内容,在介绍了相关知识后,每一章都具体分析了这些包含有2~3个实际应用问题或应对策略。这些应用内容有助于学生运用已学到的概念去处理现实生活中所提出的问题。各单元的引言部分既起到与前面章节的衔接作用,又指出了本章的主要内容。

编写本书时,我们通过以下多种途径力图提供一本阐述得更清楚、更有趣而且更容易理解和掌握,且有自身特点的电路分析教材。

◆ 每个单元的引言部分明确了本单元的总体学习目标和工作任务,并将相关知识以框图的形式表述其相互关系,这样安排目标明确、任务清晰、知识点层次分明,有助于学生的学习。

◆ 每个单元把知识点、技能点的学习融入到每个具体的工作任务中,每个任务按照“任务导入—任务分析—相关知识—任务实施”来具体展开,实现了理论与实践的结合。这些任务中有的还包括了技能指导、技能训练、计算机仿真以及课外阅读,以加强技能训练和拓宽知识面。

◆ 书中所有的原理均以清晰、条理、渐进的方式讲解,以避免产生概念模糊,难以理解的问题。

◆ 书中的知识点以“适合、够用”为原则,叙述通俗易懂。同时,对关键的术语给予明确的定义并放在突出的位置,以便学生清楚地看到。

◆ 每一节给出了一些拓宽思路的例题,并且非常清楚地说明了解题过程。这些实例应该说是教材的重要组成部分,它能使学生更好地理解内容,并且有利于培养学生独立解决问题的自信心。有些实例有2~3种解法,以便让学生掌握不同的解题方法,从而加深对知识的理解。

◆ 在示范例题之后紧接着安排一个练习题,为学生提供练习的机会,学生可参照实例一步一步地解题。习题答案就在题后,不需要到别处去查阅。这样安排还可以检查学生对前述例题的理解程度,加深对内容的掌握,更好地过渡到下一节的学习中去。

◆ 本书推荐使用Multisim 10软件,学生应该具有Multisim的基本知识,以便在学习本书的过程中利用这个工具。书后附录给出了Multisim的简要介绍。

◆ 限于所用软件,书中部分图形和文字符号用美式(ANSI)的,部分图形和文字

符号用欧式(DIN)的(用以说明 Multisim 10 提供的美式和欧式两种符号,供读者按习惯设置)。为了与软件界面图对应,书中所有仿真图中不再区分正斜体和上下角。

◆ 运算放大器作为一个基本的电路单元,在本书的前半部分就已经引入。

◆ 每一章都安排了习题。这些习题的内容可能在示范例题中未涉及,但却是检查学生理解程度的一些小“窍门”,读者可以自我检查掌握的程度。

本书由崔延任主编,朱利军、李淑萍、王鑫任副主编。崔延编写第一、二、三单元和附录,并负责全书的组织策划、修改补充和统稿;王鑫编写了第四单元,李淑萍编写了第五单元,朱利军编写了第六、七单元。在此还要感谢郭家星在编写本书初期给予的大力支持。

由于编者水平有限,书中难免存在不妥和错误之处,恳请广大读者批评指正。

编 者

2010年3月

目 录

前言

单元一 电路的基本认识

任务一 电路基本模型的构建	2
任务导入	2
任务分析	3
相关知识	3
1. 电路及电路的组成	3
2. 电路种类	4
3. 电路模型	4
4. 国际单位制	5
任务实施	6
1. 构造手电筒的电路模型	6
2. 依据测量器件端子的特性创建一个电路模型	8
计算机仿真	9
任务二 电路基本变量的分析	10
任务导入	10
任务分析	11
相关知识	11
1. 电流	11
2. 电压	12
3. 电压与电流的关联参考方向	14
4. 电功率和能量	14
任务实施	16
分析一个简单的人体模型	16
技能指导	16
如何使用模拟万用表测直流电流、电压	16
技能训练	17
电路中电位和电压的测量	17
计算机仿真	19
1. 电路中电位的仿真测试	19
2. 电路功率的测量	19
课外阅读	19

非地理学的“地”	19	19
任务三 电路基本元件的识别		21
任务导入		21
任务分析		21
相关知识		22
1. 电源		22
2. 电阻元件		25
任务实施		27
电源的连接		27
技能指导		28
电阻元件的识别与测试		28
技能训练		31
电阻元件的识别与检测		31
计算机仿真		32
电阻元件的伏安特性测试		32
课外阅读		32
线规		32
任务四 电路基本定律的理解		34
任务导入		34
任务分析		34
相关知识		34
1. 节点、支路和回路		34
2. 基尔霍夫定律		35
任务实施		39
电路模型的构造		39
技能训练		40
基尔霍夫定律的测试		40
计算机仿真		41
1. 基尔霍夫电流定律的仿真		41
2. 基尔霍夫电压定律的仿真		42
习题		42

单元二 电阻电路的等效变换

任务一 直流 (DC) 电表的设计	47
任务导入	47
任务分析	48
相关知识	48
1. 电路等效变换的概念	48

2. 线性电阻的串并联等效变换	50
3. 电路中的开路和短路	54
任务实施	55
计算机仿真	58
1. 串联电路测试	58
2. 并联电路测试	59
任务二 电源建模	60
任务导入	60
任务分析	60
相关知识	61
1. 实际电源的电路模型	61
2. 两种电源模型的等效变换	62
3. 电压源与二端元件并联的等效电路	63
4. 电流源与二端元件串联的等效电路	64
5. 电源支路的串并联的等效电路	65
6. 含受控源电路的等效化简分析	66
任务实施	68
电源建模	68
计算机仿真	70
1. 电源等效变换仿真分析	70
2. 受控源电路分析	70
任务三 电阻测量	72
任务导入	72
任务分析	72
相关知识	72
1. 电桥电路	72
2. 三角形连接和星形连接的等效变换	74
任务实施	76
电阻测量	76
计算机仿真	78
习题	79

单元三 直流电路的分析

任务一 直流晶体管电路分析	83
任务导入	83
任务分析	83
相关知识	83
1. 支路电流法	83

2. 网孔电流法	85
3. 节点电压法	90
任务实施	95
直流晶体管电路分析	95
计算机仿真	99
任务二 数字万用表分析	99
任务导入	99
任务分析	99
相关知识	100
1. 戴维南定理	100
2. 诺顿定理	101
3. 最大功率传输定理	102
4. 叠加定理	103
任务实施	106
数字万用表分析	106
技能训练	107
1. 戴维南定律及负载获得最大功率的验证	107
2. 叠加定理实验	109
计算机仿真	110
1. 戴维南电路仿真分析	110
2. 线性网络的叠加原理	112
习题	113

单元四 运算放大器的基本认识

任务一 光纤对讲机系统的分析	119
任务导入	119
任务分析	119
相关知识	119
1. 运算放大器的发展史	119
2. 运算放大器的结构与符号	120
3. 运算放大器的输入-输出特性	120
4. 理想运算放大器的模型	121
任务实施	121
任务二 数-模转换器和张力计量器的分析	122
任务导入	122
1. 数-模转换器	122
2. 张力计量器	123
任务分析	123

相关知识	124
1. 反相放大器	124
2. 同相放大器	124
3. 相加放大器	125
4. 差分放大器	125
任务实施	126
1. 数-模转换器	126
2. 张力计量器	128
计算机仿真	128
1. 电压跟随器	129
2. 同相比例放大器	129
3. 双向求和放大器	130
4. 反相求和放大器	130
习题	130

单元五 动态电路分析

任务一 电梯按钮电路的分析	134
任务导入	134
任务分析	134
相关知识	134
1. 电容元件	135
2. 电感元件	139
任务实施	141
计算机仿真	142
含 L 、 C 的电路分析与仿真	142
任务二 闪光灯电路分析	145
任务导入	145
任务分析	146
相关知识	146
1. 动态电路方程及初始值的确定	146
2. 一阶动态电路的零输入响应	149
3. 一阶动态电路的零状态响应	154
4. 一阶动态电路的全响应	157
5. 一阶动态电路的三要素法	158
6. 阶跃响应	161
任务实施	162
计算机仿真	164
1. 零输入响应	164

2. 零状态响应	164
3. 全响应	164
习题	166

单元六 正弦稳态电路分析

任务一 正弦稳态电路的认识	170
任务导入	170
任务分析	170
相关知识	171
1. 正弦量的基本概念	171
2. 正弦量的表示法	175
3. 单一无源电路元件的伏安关系	179
4. 复阻抗与复导纳	186
5. 正弦电路的基本定律	189
任务实施	192
1. 移相器应用分析	192
2. 交流电桥应用分析	195
技能训练	196
单相交流电路	196
计算机仿真	197
1. 正弦电路的基尔霍夫电流定律	197
2. 正弦电路的基尔霍夫电压定律	197
课外阅读	198
电力系统简介	198
任务二 正弦稳态电路功率分析	201
任务导入	201
任务分析	201
相关知识	202
1. 正弦稳态电路的功率	202
2. 谐振电路	208
任务实施	214
1. 手柄式吹风机控制电路分析	214
2. 日光灯电路及功率因数的改善	217
技能训练 1	218
功率因数的提高	218
技能训练 2	220
R 、 L 、 C 串联谐振	220
课外阅读	222

1. 功率因数的校正	222
2. 功率术语比较	223
习题	224

单元七 平衡三相电路

任务 直流晶体管电路分析	227
任务导入	227
任务分析	227
相关知识	228
1. 三相电源	228
2. 负载星形连接的三相电路	231
3. 负载三角形连接的三相电路	233
4. 三相电路的功率	235
5. 三相系统的功率测量——功率表的使用	235
任务实施	237
1. 三相功率的测量	237
2. 住宅房屋的接线	242
3. 三相异步电动机	244
技能训练 1	248
三相负载星形连接	248
技能训练 2	250
三相负载三角形连接	250
课外阅读	252
1. 中性点系统接地简介	252
2. 电力系统的中性点运行方式	252
习题	253
附录 关于 Multisim	256
1. 电子电路仿真软件 Multisim	256
2. Multisim 的特点	256
3. 关于 Multisim 10.0	257
参考文献	258

单元一 电路的基本认识

电气工程包含很多领域，是否所有的电气工程都有共同的部分？回答是肯定的，共同的部分就是电路。电路是实际电气系统行为的近似数学模型，它为学习电气工程提供了重要的基础。模型、数学技术和电路理论构成工程学的框架。

电路通常是指实际的电系统以及它的模型。在本文中，当提到电路的时候，除非另有说明，一般指电路模型。所谓电路分析，就是给定电路的结构、元件的特性，然后求解电路中各部分的电压、电流和功率等。

本单元的学习任务是掌握电路的基本理论知识，重点讲解电路模型、电路变量、电路元件和电路定理等基础知识。



学习目标

1. 能用常见的电路符号建立简单的电路模型。
2. 明确电阻、电源等常用电路元件模型的特征。
3. 掌握电路中电流、电压、电功率等基本物理量的概念，并会计算电功率。
4. 能灵活应用基尔霍夫定律进行电路变量分析。

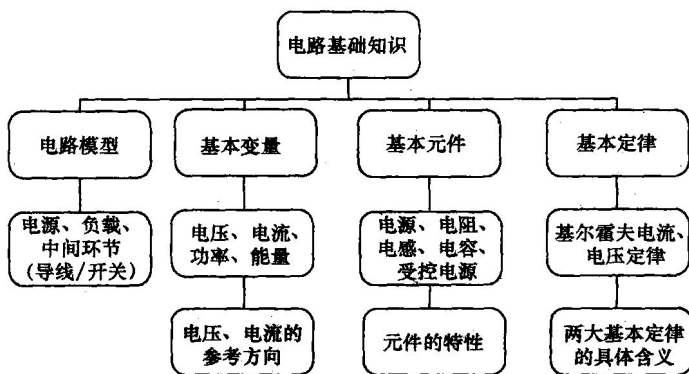


工作任务

1. 构造手电筒电路的电路模型。
2. 依据测量器件端子的特性创建一个电路模型。
3. 通过开发一个简单的人体电路模型，判断用电安全问题。
4. 理解理想独立源和非独立源的连接特性，判断电路中电源互连时正确与否。
5. 正确识别和检测常用元件。



知识结构



■ 任务一 电路基本模型的构建 ■

■ 任务导入

在开始讨论电路分析的具体内容之前,需要先简要说明工程设计,特别是电路设计。虽然本书的主要内容为电路分析,但是,在适当场合我们也会讨论电路设计问题,特别是电路分析适合整个电路设计的哪一部分。

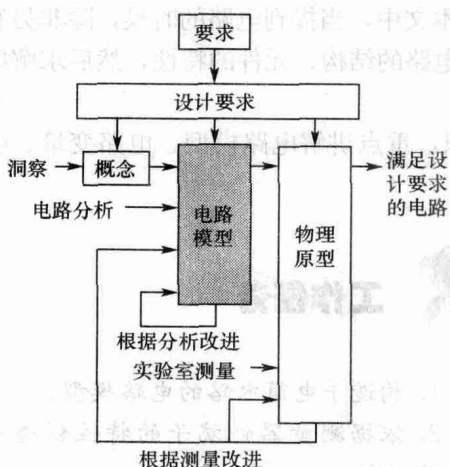


图 1.1 电气工程设计概念模型

所有工程设计开始于提出要求,如图 1.1 所示。这个要求可能来源于改善现有设计,或者也可以是崭新的设计。对工程要求需进行仔细的评估,通过评估生成设计要求,设计要求具有设计的可测量特性。一旦开始进行设计,设计要求就成为评估设计能否满足要求的标准。

接下来是有关设计的概念。对设计要求的完全理解才能产生概念,概念可以体现为一张草图、一段文字描述或者其他形式。接下来是将概念转化为数学模型,常用电系统的数学模型就是电路模型。

电路模型元件称为理想电路元件。理想电路元件是实际电元件(如电池或灯泡)的数学模型。使用理想电路元件来表现实际电元件时,其

精确度是非常重要的。电路分析工具及其在电路中的应用是本书的重点。电路分析是以数学为基础,用来预测电路模型和理想电路元件的行为。通过比较设计要求中的期望行为和电路分析中得到的预测行为,进行电路模型和理想电路元件的改进,一旦期望行为和预测行为一致,则物理原型构造就完成了。

物理原型是一个实际电系统,由实际电元件构成。测量技术用于确定实际物理系统行为。实际行为与设计要求中的期望行为以及电路分析得到的预测行为相比较,比较后,进行物理原型、电路模型的改进。重复进行处理,不断改进元件和系统,最终产生一个精确的设计,满足设计要求。

从以上描述可以清楚地看出,在设计过程中,电路分析起了非常重要的作用。把电路分析应用于电路模型,工程师设法使用成熟的电路模型,可减少设计的反复。本书使用的模型已经被检验了 20~100 年,可以假设这些模型是成熟的。电路分析对于工程师是非常重要的,只有具备了电路分析的能力,工程师才可能具有用理想电路元件模拟实际电系统的能力。

利用理想电路元件之间的相互关系可以定量预测系统的行为,这就意味着可以用数学方程式来描述元件之间的相互关系。为了利用数学方程式,我们必须按照测量的参量来写数学方程式。就电路而言,这些参量是电压和电流。学习电路分析需要理解用电压

和电流来表示理想电路元件的行为,进一步理解理想电路元件的相互关系对电压和电流的影响。

■ 任务分析

基本电路元件是构造实际系统电路模型的基础。开发一个器件或系统的电路模型所需的技巧,和求解一个分支电路所需的技巧同样复杂。尽管本书强调的是求解电路所需的技巧,但是,实际电气工程中还需要其他方面的技巧,最重要的技巧之一就是建模。本节任务就是开发电路模型。

通过本任务的学习,将开发两个电路模型:

- 1) 根据系统组件行为的知识和组件的互连方式构造一个电路模型。
- 2) 依据测量器件端子的特性构造一个电路模型。

■ 相关知识

1. 电路及电路的组成

电路是由电气器件(如电阻器、电容器、电感线圈、晶体管和变压器等)为了实现某种功能按一定方式连接而成的集合体。本书中所讲的电路都是由实际电路抽象而来的。例如,手电筒是一个最简单的电路(如图1.2所示),它由电池、开关、灯泡和导线等组成一个电流的通路;又如电力系统(如图1.3所示)和电视机电路则是相当复杂的电路,它们由许多的电路元件连接组成。

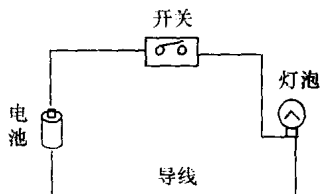


图 1.2 手电筒电路示意图

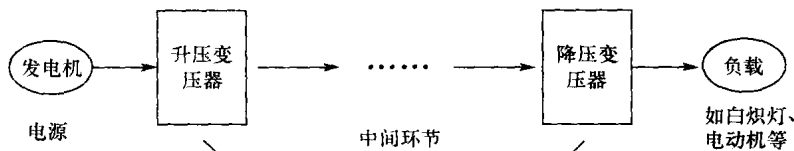


图 1.3 电力系统结构示意图

电路的种类很多,作用也各不相同,但其基本作用有两个。

一是实现电能的传输和转换。例如电力系统就是用电力网把各发电厂生产的电能输送到城乡的用电设备中以供使用。这类电路中,一般电压较高,电流较大,通常称为强电电路,要求在电能的传输和转换过程中,电路的能量损耗尽量小,效率尽量高。

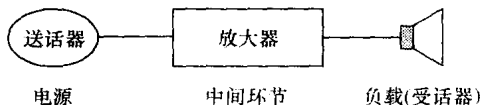


图 1.4 扩音器线路结构示意图

二是传递和处理信号。例如电话线路、扩音器线路(如图1.4所示)、计算机线路等都是起这类作用的电路。在这类电路中,虽然也有能量的传输和转换,但因电压、电流数值通常较小,称为弱电电路,较少考虑能量的损耗

和效率问题,研究的重点是如何改善电路传递和处理信号的性能(如失真、稳定性、放

大倍数和极间配合等)问题。

不管电路简单还是复杂,一个完整的电路都是由三个基本部分组成,即电源、负载和中间环节,因此这三部分又称为组成电路的三要素。

1) 电源:它是向电路提供电能的装置,其作用是可以将其他形式的能量,如化学能、光能、热能、机械能等非电能转换为电能。

2) 负载:它是电路中的用电器,各种负载进行能量转换的形式各有不同,如电灯是将电能转换成热能和光能。

3) 中间环节:它是利用各种元部件将电源和负载连接起来构成闭合电路,并对整个电路起着传输和分配能量、控制、保护和测量的作用。

如一种最简单的实际照明电路——手电筒电路,它由电源(电池)、负载(灯泡)和中间环节(导线、开关)三个部分组成。当开关闭合时,电流从电源的正极通过导线流过灯泡中的灯丝,并回到电源负极。当灯丝有电流流过时,就将电能变成了热能和光能。日常生活中,人们熟悉的用电器,如电视机、电风扇、冰箱等都是利用各种电路将电能转换成人们所需要的各种其他能量。

2. 电路种类

按所加电源可分为单相电路、三相交流电路和多相电路等。

按用途可分为测量电路、控制电路、滤波电路、整流电路和逆变电路等。

按元件的性质不同可分为时变电路和时不变电路(元件的特性或参数不随时间变化),线性电路(电路元件的输入与输出在量值上保持线性关系)和非线性电路,稳态电路和动态电路(含有电感器、电容器等动态元件),集总参数电路(由电阻器、电感器等集总参数元件组成)和分布参数电路(本书中只介绍集总参数电路),直流电路和交流电路等。

根据结构不同,电路又可分为有分支电路和无分支电路,或者称为简单电路和复杂电路。

按照电路的范围来分,一般把电源以外的电路称为外电路,而把电源设备内部的电路称为内电路。

电路理论是研究电路元器件的电路造型、电路分析、电路综合等方面问题的理论,其中电路分析是研究如何根据已知的电路结构和电路元件,计算电路的响应,即计算电压、电流等,以确定电路的特性。本书主要针对直流线性电阻电路、正弦交流电路以及动态电路的分析方法进行详细介绍。

3. 电路模型

实际应用中的电路种类很多,较复杂的电路中有成千上万个元器件,所以人们把组成电路的实际元器件加以理想化,采用足以反映实物主要性质的一些符号来近似代替所用的元器件,这些符号就称为元件的模型,用这些符号画出的电路图就称为电路模型。实际电路的电路模型是由理想元件相互连接而成的,理想电路元件是组成电路模型的最小单元,是具有某种确定的电磁性质的假想元件,是一种理想化并具有精确的数学定义模型。电路中最基本的三种元器件:理想电阻元件(只消耗

电场能)、理想电容元件(只储存电场能)、理想电感元件(只储存磁场能),它们的电路元件模型分别如图 1.5 所示。根据端子的数目,理想电路元件可分为二端、三端、四端元件等。

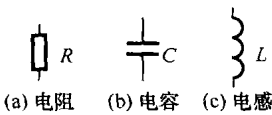


图 1.5 理想化电路元件模型

关于理想化,这里要强调一下:真正的理想电路元件在实际中并不存在,所谓“理想”,是指对某一个元件仅仅是近似它的主要功能,而有些影响在某种条件下是可以忽略不计的。例如,一个实际的电阻器(如电灯泡),有电流通过时还会产生磁场,因此兼有电感的性质,但电灯泡的电感是很微小的,就可以把它看作一个理想电阻元件;一个实际电源总有内阻,因此在使用时不可能总保持一定的端电压,但一节新的干电池,内阻和灯泡电阻相比可忽略不计,把它看作一个电压恒定的理想电压源也是完全可以的。这里所介绍的各种电路模型只适用于低频电路中,这些电路的各电路元件基本上都是“集总参数元件”(即存在的微量电阻、电容可忽略不计)。

本书若无特殊说明,所说电路均指由理想电路元件构成的电路模型,而非实际电路,同时把理想电路元件简称为电路元件。

需要注意的是:具有相同的主要电磁性能的实际电路部件,在一定条件下可用同一模型表示;同一实际电路部件在不同的工作条件下,其模型可以有不同的形式。如在直流情况下,一个线圈的模型可以是一个电阻元件;在较低频率下,就要用电阻元件和电感元件的串联组合模拟;在较高频率下,还应考虑导体表面的电荷作用,即电容效应,所以其模型还需要包含电容元件。

实际电路的电路模型选取得恰当,电路的分析和计算结果就与实际情况接近;模型选取得不恰当,则会造成很大误差,有时甚至导致自相矛盾的结果。如果模型取得太复杂就会造成分析困难;如果取得太简单,又不足以反映所需求解的真实情况。

4. 国际单位制

本书采用国际单位制(SI)。国际单位制以六个定义为基础:长度、质量、时间、电流、热力学温度和光强度,上述量及其单位和符号在表 1.1 所示。有些大家熟悉的时间单位,如分(60s)、时(3 600s)等,尽管不是严格的国际单位,也经常使用在工程计算中。另外,定义量还可以组合形成导出单位,物理课程中经常用到这些导出单位,表 1.2 列出了本书使用的导出单位。

表 1.1 国际单位制

物理量	基本单位	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
光强度	坎德拉	cd