

21 世纪电工电子学课程系列教材

电路理论基础

(电 类)

主 编 宋学瑞

副主编 陈 宁 李中华
李 飞 张婵娟

中 南 大 学 出 版 社

电路理论基础

(电 类)

主 编 廖常志
副主编 廖 宁 廖永年
参 考 廖 飞 廖树强

清华大学出版社

电路理论基础

(电 类)

主 编 宋学瑞

副主编 陈 宁 李中华

李 飞 张婵娟

中南大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

电路理论基础:电类/宋学瑞主编. —长沙:中南大学出版社,
2005. 8

ISBN 7-81105-143-5

I. 电... II. 宋... III. 电路理论 - 高等学校 - 教材
IV. TM13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 094522 号

21 世纪电工电子学课程系列教材

电路理论基础

(电类)

主编 宋学瑞

☐ 责任编辑 肖梓高

☐ 责任印制 文桂武

☐ 出版发行 中南大学出版社

社址:长沙市麓山南路

邮编:410083

发行科电话:0731-8876770

传真:0731-8710482

☐ 印 装 长沙利君漾印刷厂

☐ 开 本 730 × 960 1/16 ☐ 印张 26.5 ☐ 字数 472 千字

☐ 版 次 2005 年 8 月第 1 版 ☐ 2005 年 8 月第 1 次印刷

☐ 书 号 ISBN 7-81105-143-5/TM · 002

☐ 定 价 34.00 元

图书出现印装问题,请与出版社调换

21 世纪电工电子学课程系列教材编委会

主 任 陈明义 宋学瑞

成员(以姓氏笔划为序):

文援朝 王英健 李义府 肖梓高 陈明义

宋学瑞 李 飞 罗桂娥 赖旭芝

前 言

“电路理论”是工科院校电气电子信息类专业的一门重要的入门技术基础课程。为了适应电子科学技术日新月异的飞速发展和 21 世纪的教材结构和教学内容改革的要求,我们结合多年的教学实践经验,编写了《电路理论基础》这本教材。

我们在反复讨论基本要求的基础上,对教材内容做了精选安排。本书的主要特点是:

(1) 设计好本书的框架、结构、体系。依据这种体系结构,先建立最基本的概念,再进入电路分析。而电路分析,也是本着先易后难、循序渐进的原则逐步深入,便于读者自学,老师施教。

(2) 力求少而精,精选内容,优选讲法,对课程基本要求中的主干内容,讲深、讲透,本着削支强干思想,突出重点。对电路的基本概念,从多个侧面阐述问题,列举了各种类型的例子,让读者深刻理解概念,熟练掌握分析方法。

(3) 对基本概念的讲解,力求准确清晰,多从物理概念做定性说明。对必需的定量数学推导,做到交待清楚思路,推导过程简明扼要,结论明确,便于读者掌握。

(4) 配置例题的目的性强,力求结合工程实际并具有典型性。所举例题精心配置元件数据,使读者阅读时,不至于因计算过程数据的不整齐而困惑。每章后配置有深浅度适当的习题,在本书末给出了这些题目的部分参考答案。

为了使教材更具有条理及突出重点,全书主要内容分为 4 篇共 15 章。直流电路分析篇包括:电路的基本元件和电路定律,电路的等效变换,电阻电路的一般分析方法,电路基本定理等内容;交流电路分析篇包括:正弦交流电路相量法,正弦交流电路的分析,含耦合电感电路的分析,三相电路;动态电路

分析篇包括：一阶电路分析、二阶电路分析、复频域分析等内容；高级电路分析篇包括：非正弦交流电路，二端口网络，网络图论及电路的计算机辅助分析，非线性电路分析。使用本教材的教学参考学时为 80~96 学时。本书第 1、2、4 章由陈宁同志编写，第 5、6、7 章由宋学瑞同志编写，第 3、8、12 章由李中华同志编写，第 9、10、11 章由张弹娟同志编写，第 13、14、15 章由李飞同志编写。全书由宋学瑞任主编，负责统稿。

书稿在统稿过程中，陈明义、罗桂娥和李义府等多位同仁提出了许多宝贵意见，书稿策划与编辑也得到了中南大学出版社的热情帮助，在此表示诚挚的感谢。

由于编者水平有限，又加上编写时间紧迫，所以书中难免存在不足或错误，恳请广大读者批评指正。

编 者

2005.7

目 录

第 1 篇 直流电路分析

第 1 章 电路的基本元件和电路定律	(3)
1-1 电路和电路的模型	(3)
1-2 电路主要物理量和参考方向	(6)
1-3 电阻元件	(9)
1-4 电容元件	(12)
1-5 电感元件	(14)
1-6 独立电源	(17)
1-7 受控源	(19)
1-8 电路的图	(20)
1-9 基尔霍夫定律	(23)
1-10 电位的计算	(28)
本章小结	(30)
复习思考题	(31)
第 2 章 电路的等效变换	(37)
2-1 一端口网络等效的概念	(37)
2-2 电阻的串联和并联	(38)
2-3 电阻星形连接与三角形连接的等效变换	(41)
2-4 电源网络的等效变换	(44)
2-5 含受控源的无源一端口网络的等效变换	(47)
本章小结	(49)
复习思考题	(50)
第 3 章 电阻电路的一般分析方法	(54)
3-1 支路电流法	(54)

3-2 回路及网孔电流法	(58)
3-3 结点电压法	(68)
本章小结	(76)
复习思考题	(77)
第4章 电路基本定理	(84)
4-1 齐性定理和叠加定理	(84)
4-2 替代定理	(89)
4-3 戴维宁定理和诺顿定理	(90)
4-4 特勒根定理和互易定理	(99)
本章小结	(104)
复习思考题	(105)

第2篇 交流电路分析

第5章 正弦交流电路相量法	(113)
5-1 正弦量的基本概念	(113)
5-2 相量法的基础	(119)
5-3 电路元件的相量形式	(128)
5-4 基尔霍夫定律的相量形式	(131)
本章小结	(133)
复习思考题	(134)
第6章 正弦交流电路的分析	(137)
6-1 阻抗和导纳	(137)
6-2 阻抗和导纳的串联和并联	(142)
6-3 电路的相量图法	(145)
6-4 正弦稳态电路分析	(148)
6-5 正弦稳态电路的功率	(151)
6-6 复功率	(156)
6-7 功率因数的提高	(157)
6-8 正弦稳态最大功率传输条件	(160)
6-9 正弦交流电路的串联谐振	(163)

6-10 正弦交流电路的并联谐振	(168)
本章小结	(173)
复习思考题	(176)
第7章 含耦合电感电路的分析	(185)
7-1 耦合电感	(185)
7-2 含有耦合电感电路的计算	(190)
7-3 空芯变压器电路的分析	(195)
7-4 理想变压器	(198)
本章小结	(202)
复习思考题	(203)
第8章 三相电路	(207)
8-1 三相电路	(207)
8-2 对称三相电路的计算	(213)
8-3 不对称三相电路的概念	(217)
8-4 三相电路的功率	(222)
本章小结	(227)
复习思考题	(227)

第3篇 动态电路分析

第9章 一阶电路分析	(235)
9-1 过渡过程及换路定理	(235)
9-2 零输入响应	(238)
9-3 零状态响应	(242)
9-4 一阶电路的全响应及三要素法	(246)
9-5 阶跃响应和冲激响应	(250)
本章小结	(257)
复习思考题	(257)
第10章 二阶电路分析	(265)
10-1 零输入响应	(265)

10-2 零状态响应	(270)
10-3 二阶电路的冲激响应	(272)
10-4 卷积	(274)
本章小结	(278)
复习思考题	(278)
第11章 复频域分析	(281)
11-1 拉普拉斯变换及基本性质	(281)
11-2 拉普拉斯反变换的部分分式展开	(285)
11-3 电路元件和定律的复频域分析	(288)
11-4 应用拉普拉斯变换法分析线性电路	(291)
11-5 网络函数	(295)
本章小结	(300)
复习思考题	(300)
 第4篇 高级电路分析	
第12章 非正弦周期电流电路	(307)
12-1 非正弦周期信号及傅里叶级数展开	(307)
12-2 有效值、平均值和平均功率	(313)
12-3 非正弦周期交流电路的计算	(317)
12-4 对称三相电路中的高次谐波	(322)
本章小结	(325)
复习思考题	(326)
第13章 二端口网络	(330)
13-1 二端口网络的基本概念	(330)
13-2 二端口网络的方程和参数矩阵	(331)
13-3 二端口的等效电路	(340)
13-4 二端口的连接	(342)
13-5 回转器和负阻抗变换器	(344)
本章小结	(347)
复习思考题	(347)

第 14 章 网络图论及电路的计算机辅助分析	(350)
14-1 网络图论的基本概念	(350)
14-2 关联矩阵、回路矩阵、割集矩阵	(351)
14-3 结点电压方程的矩阵形式	(357)
14-4 回路电流方程的矩阵形式	(362)
14-5 割集电压方程的矩阵形式	(366)
14-6 状态变量分析	(368)
14-7 计算机辅助分析	(374)
本章小结	(381)
复习思考题	(381)
第 15 章 非线性电路分析	(386)
15-1 非线性电路元件	(386)
15-2 小信号分析方法	(392)
15-3 分段线性化方法	(396)
本章小结	(399)
复习思考题	(399)
各章复习思考题答案	(403)
参考文献	(412)

第 1 篇 直流电路分析

第1章 电路的基本元件和电路定律

本章是全书的基础,主要介绍电路的基本概念和电路的基本定律,引出贯穿电路理论的两类约束关系:元件的伏安关系及与元件性质无关的反映电路连接特点的基尔霍夫定律。基尔霍夫定律是集总电路的基本定律。

1-1 电路和电路的模型

电在现代日常生活、工农业生产、科研和国防等许多方面都有十分广泛的应用。要利用电能,就必须构成一定形式的电路。电路是由电气器件(电阻器、电容器、电感线圈、晶体管、变压器等)相互连接而构成的。由于功能不同,实际电路千差万别,但不同的电路都遵循着同样的基本电路定律。

1. 电路的作用

电路有两大作用,一是完成能量的转换。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。典型的例子是电力系统,发电厂的发电机组把热能或原子能或水能等转换成电能,通过变压器、输电线等输送给各用电单位,那里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。电路的另一重要作用是信号的处理。通过电路把施加的信号(称为激励)变换或“加工”成为其他所需要的输出(称为响应)。收音机或电视机的调谐电路是用来选择所需要的信号,而由于收到的信号是很微弱的,所以又需要专为放大信号用的放大电路。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。

实际电路的几何尺寸相差甚大。电力系统或通讯系统可能跨越省界、国界甚至是洲际的,但集成电路的芯片则不大于指甲。而在这样大小的芯片上却可能有成千上万甚至数十万个晶体管相互连接成为一个复杂的电路或系统。显然,大、小两类电路在结构上都是非常复杂的,但无论是简单电路,还是复杂电路,就其组成而言不外乎3个部分:电源、中间环节和负载。人们把提供电能的装置叫电源,它在电路中起激励作用,又称为激励。把转换电能的装置称为负载。连接电源和负载的环节,称为中间环节。

2. 理想电路元件和电路模型

电路分析中所研究的电路,不是实际电路,而是从实际电路中抽象出来的、由理想电路元件所组成的电路模型。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定义。例如电阻元件能表示消耗电能的器件;电感元件能表示各种电感线圈产生磁场、储存磁能的作用;电容元件能表示各种电容器产生电场、储存电能的作用;电源元件能表示各种诸如发电机、电池等器件将其他形式的能量转换成电能的作用。电路理论中我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应的电路模型,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”连接起来的。

图 1-1(a)所示的是一个简单的实际电路,其中有一个电源(电池)、一个负载(灯泡)和两根连接导线,其电路模型如图 1-1(b)所示,电阻元件 R 表示小灯泡,电池用电压源 U_s 和电阻元件 R_s 来表示,而连接导线在电路模型中用相应的理想导线(即认为它们的电阻为零)或线段来表示。

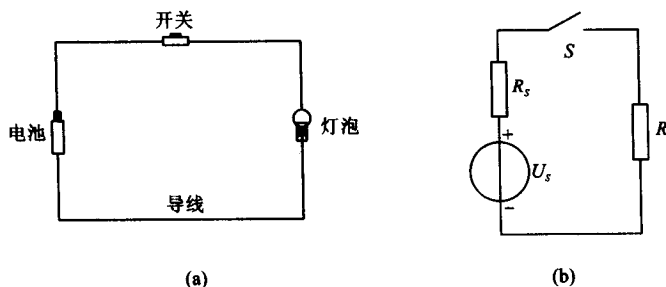


图 1-1 手电筒电路和模型

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它们的组合来模拟,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,可按不同的精确程度用电路元件及它们的组合来予以模拟。例如,一个实际电感线圈,如图 1-2(a)所示;如在工作频率比较低时,它可以用电阻和电感元件的串联组合构成的模型来描述,如图 1-2(b)所示;当频率较高时,线圈的绕线之间的电容效应就不容忽视,这种情况下表征这个线圈的较精确的模型还应当包含电容元件,如图 1-2(c)所示。总之在不同条件下,同一实际器件可能要用不同的电路模型来模拟。

今后我们所说的电路一般均指由理想电路元件构成的抽象电路而非实际电路。大量实践充分证实只要电路模型取得恰当,按抽象电路分析计算所得结果

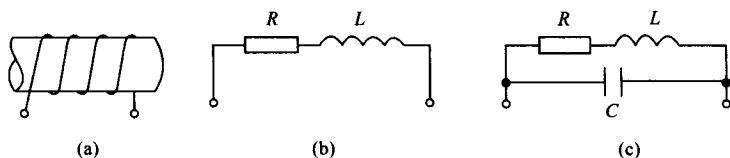


图 1-2 实际电感元件在不同应用条件下的模型

与对应的实际电路中测量所得结果基本上是一致的。当然，如果电路模型选择得不好，则会造成很大误差，有时甚至还可能导致自相矛盾的结果。在某种意义上可以说电路理论是一门相当精确的工程学科，这是因为按理论所预测的电路性状一般与实际情况是十分接近的。

3. 集总元件和集总电路

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子间的电压，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，当构成电路的器件以及电路本身的尺寸 l (长度) 远小于电路工作时的电磁波的波长 λ ，即

$$l \ll \lambda$$

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将是单值的量。在这样的条件下，理想电路元件又称为集总元件或集总参数元件。

理想电路元件是通过端子与外部相连接的，而根据端子的数目可分为二端、三端、四端元件等。我们认为在任何时刻，从具有两个端子的集总元件的一个端子流入的电流将恒等于从另一端子流出的电流，并且元件的端电压是单值的，对于多于两个端子的集总元件来说，在任何时刻流入任一端子的电流和任意两端之间的电压是单值的量。由集总元件构成的电路称为集总电路，或具有集总参数的电路。从电磁场理论的观点看，集总电路的尺寸可以完全忽略不计。如果实际电路的尺寸不太小于工作时电磁波的波长，则这种电路便不能按集总电路来处理。

4. 本书的主要研究内容

电路理论是一门研究网络分析和网络综合或设计的基础工程学科，它涉及的面非常广泛。本书的主要内容是介绍电路理论的入门知识，其重点是电路的分析，它探讨电路的基本定律和定理，并讨论电路的各种计算方法。电路中的物理量主要有电流、电荷、电压和磁通。此外，能量和功率也很重要。无论简单的还是复杂的实际电路都可以通过几种理想电路元件所构成的抽象电路充分