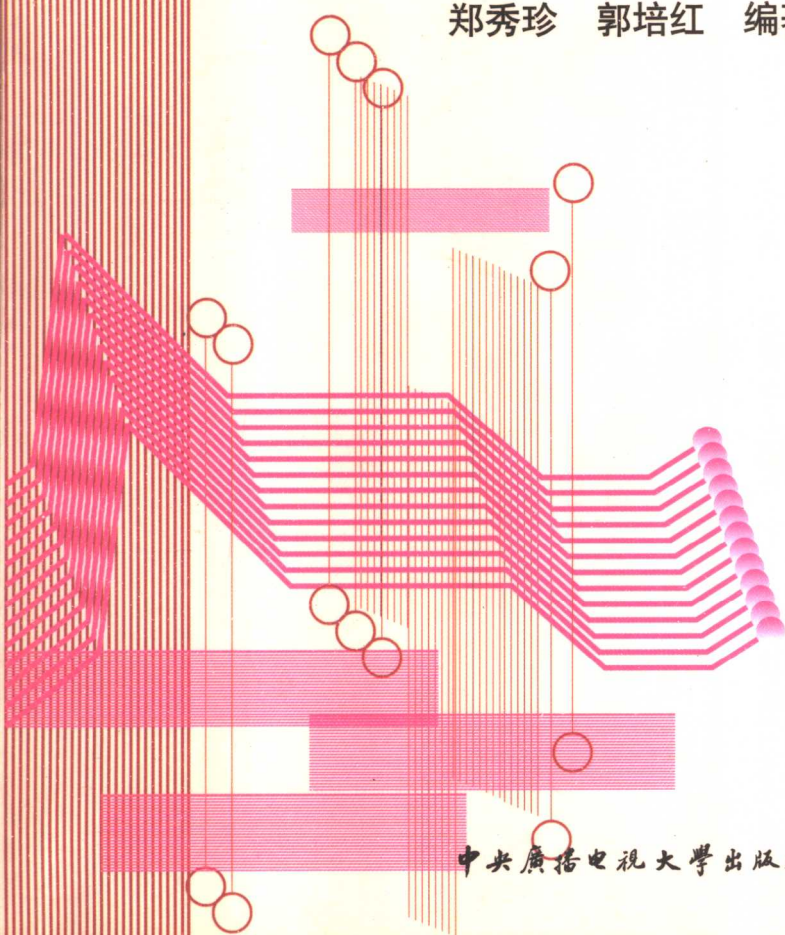


高等学校教材

电路分析基础

郑秀珍 郭培红 编著



中央广播电视大学出版社

高等学校教材

电路分析基础

郑秀珍 郭培红 编著

中央广播电视大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

电路分析基础/ 郑秀珍, 郭培红编著. —北京: 中央广播电视大学出版社, 2002. 10

ISBN 7 - 304 - 02320 - 1

I . 电… II . ①郑…②郭… III . ①电路分析—高等学校—教材 IV . TH133

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 084176 号

版权所有, 翻印必究。

高等学校教材

电路分析基础

郑秀珍 郭培红 编著

出版·发行/中央广播电视大学出版社

经销/ 新华书店北京发行所

印刷/ 北京云浩印刷有限责任公司

开本/850×1168 1/32 印张/16.125 字数/390 千字

版本/2002 年 8 月第 1 版 2002 年 10 月第 1 次印刷

印数/0001—4100

社址/北京市复兴门内大街 160 号 邮编/100031

电话/66419791 68519502 (本书如有缺页或倒装, 本社负责退换)

书号: ISBN 7 - 304 - 02320 - 1/TN·27

定价: 25.00 元

前 言

《电路分析基础》是高等学校理工科学生必修的一门专业基础课。本教材适用于通信、电子、计算机、自动化等专业本科生使用，或作为相关科技人员业务参考用书，也可作为有志青年自学用书。

作为上述专业的第一门专业基础课，需先修完《高等数学》、《普通物理》等基础课程。

电路理论是电子技术的基础理论，也是电子技术得以迅速发展的理论支柱。因此本教材在编写内容上，根据“电路分析基础”教学大纲的要求，以传统的基本内容为主，强调基本概念、基本理论及基本的分析方法，并加入了“图论”内容，以弥补未开设“图论”课程的空白。为后续相关专业课的学习提供必要的基础理论，也为进一步研究电路理论打下坚实的基础。

在编写结构上，采用先直流后交流，先稳态后瞬态的顺序，使之符合由浅入深、循序渐进的认识规律。

在编写指导思想上，既力求内容精炼，突出重点和难点；又注重培养学生分析问题和解决问题的能力。因此，本书加大了例题量，通过对例题的分析，使学生进一步理解和掌握所学内容。每一节后面配有思考与练习题，每一章后面还有适量习题，且书后附有参考答案，供学生课后练习，以巩固和应用所学内容。

本教材除以上特点外，在编写文字和语言上，力求文字简练，语言流畅，通俗易懂，条理性强，更便于自学。

本教材共分十章。包括电路模型和电路定律、电阻的等效变换、线性电路的一般分析、电路定理、瞬态分析、正弦稳态电路分析、互感电路与变压器、谐振电路、三相电路和网络图论及矩阵分析法。由郭培红负责前五章的编写，郑秀珍负责后五章的编写及全书的统编工作。范书学对全书内容框架设计制作了具体指导，在此表示感谢。

由于编者水平有限，书中难免有不妥或错误之处，恳请广大师生及读者批评指正。

编著者

2002年6月

目 录

第一章	电路模型和电路定律	(1)
第一节	电路及电路模型	(1)
第二节	电路的基本变量	(4)
第三节	电阻元件及欧姆定律	(11)
第四节	电容元件	(16)
第五节	电感元件	(21)
第六节	电 源	(25)
第七节	基尔霍夫定律	(34)
本章小结		(43)
习题一		(45)
第二章	电阻电路的等效分析	(51)
第一节	电阻的串联、并联和混联	(51)
第二节	电阻的 Y 型联接与 Δ 型联接及其等效转换	(64)
第三节	电压源、电流源及其等效转换	(70)
第四节	含受控源电路的计算	(83)
本章小结		(91)

习题二	(92)
第三章 线性电路的一般分析方法	(102)
第一节 支路电流法	(102)
第二节 节点电位法	(108)
第三节 网孔电流法和回路电流法	(120)
本章小结	(133)
习题三	(133)
第四章 电路定理	(141)
第一节 叠加定理	(142)
第二节 替代定理	(149)
第三节 戴维南定理和诺顿定理	(152)
第四节 特勒根定理	(171)
第五节 互易定理	(174)
第六节 对偶原理	(180)
本章小结	(183)
习题四	(184)
第五章 电路的瞬态分析	(192)
第一节 动态电路	(193)
第二节 一阶电路的零输入响应	(201)
第三节 一阶电路的零状态响应	(212)
第四节 一阶电路的全响应	(221)
第五节 直流一阶电路的计算	(228)
第六节 一阶电路的阶跃响应	(237)
第七节 微分电路与积分电路	(248)

第八节 RLC 串联电路的零输入响应	(255)
本章小结	(263)
习题五	(265)
第六章 正弦稳态电路分析	(277)
第一节 正弦信号	(278)
第二节 正弦信号的相量表示法	(285)
第三节 电路定律的相量形式	(292)
第四节 阻抗和导纳	(300)
第五节 正弦稳态电路分析举例	(315)
第六节 正弦稳态电路的功率	(324)
本章小结	(336)
习题六	(338)
第七章 互感电路与变压器	(349)
第一节 互感元件的伏 - 安关系	(349)
第二节 互感元件去耦的等效模型	(357)
第三节 含互感的正弦稳态电路分析举例	(368)
第四节 理想变压器	(376)
第五节 实际变压器的模型	(391)
本章小结	(397)
习题七	(398)
第八章 谐振电路	(403)
第一节 串联谐振电路	(404)
第二节 简单并联谐振电路	(418)
第三节 复杂并联谐振电路	(425)

本章小结	(432)
习题八	(434)
第九章 三相电路	(438)
第一节 三相电路的基本概念	(438)
第二节 对称三相电路的计算	(443)
第三节 三相电路的功率	(448)
第四节 应用三相电源时应注意的一些问题	(451)
本章小结	(453)
习题九	(454)
第十章 网络图论和矩阵分析法	(456)
第一节 网络图论的基本概念	(456)
第二节 关联矩阵和节点分析法	(464)
第三节 基本回路矩阵和回路分析法	(478)
第四节 基本割集矩阵和割集分析法	(485)
本章小结	(492)
习题十	(493)
部分习题答案	(497)
主要参考书目	(508)

第一章 电路模型和电路定律

电路分析是电路理论的一个分支。它研究的是在确定电路结构，已知元件参数的条件下，寻求电路输入（激励）与输出（响应）之间的关系。电路理论的另一个分支是电路综合，它研究的是在确定了输入（激励）与输出（响应）的条件下，如何寻求电路的结构和元件的参数。本书的内容是电路分析。

学习《电路分析基础》核心内容是掌握电路的基本规律和分析计算方法。本章将首先介绍电路的基础知识和基本概念。重点介绍电路理论中的模型、基本变量、基本元件、基本定律等重要概念。因为本章的内容是全书的基础，所有概念都要在以后的章节中用到，必须重视，加深理解。

第一节 电路及电路模型

本节介绍什么是电路及电路模型的概念。

一、电 路

电路是电能传输和转换的电流通路，主要是由电源（提供电能），负载（用电设备——取用电能的设备）及连接电源与负载

之间能量传送的导线等组成。实际电路是由电器元件相互连接而构成的。这里所说的电器元件泛指实际的电路部件，如电阻器、电容器、电感器、晶体管、变压器、电源、开关等。由于电路的设计目的、任务是各种各样的，所以电路的作用也是各种各样的。

在电路中，随着电流的通过，进行着电能的传输和分配，以及把电能转换成所需要的其它形式能量的过程。虽然电路是一个极其复杂的系统，但基本上可以将其分为两大类：一类是进行电能的传输或转换，另一类是实现信息的传输和处理。在通信技术中，电路的主要作用是用来传递，储存，加工和处理信号。通常把输入电路的信号称为激励，而把经过电路传输或处理后输出的信号称为响应。

二、电路模型

在实际电路中使用着的各种电器元件，种类繁多，所呈现的电磁性能也相当复杂。人们设计制作各种元器件是希望利用它的主要物理性质，如电阻器是要利用它的电阻，即对电流呈现阻力的性质，实际上当电流通过时，它也储藏了一定的磁能和电能，因此上，电阻器不仅有热效应，还有一定的磁场和电场效应。再如电感线圈，它的主要功能是用来存储和交换磁能，但当电流通过时还消耗一定的热能，同时还伴随着一定的电场能量。在电路分析中，如果将这些电磁性能都加以考虑，势必使分析过程复杂化。在工程上也没有这种精确的必要。因此，在一定条件下，对实际元件加以近似、理想化，并用一个表征其主要性能的元件模型（又称理想元件）来代替实际元件，从而构成了与实际电路相对应的电路模型。以后，分析计算中所涉及的各种元件都是指理想元件。电路分析中常用的三种最基本的理想元件分别是：只表

示消耗电能并将电能转换为热能的电阻元件；只表示存储电场能量特性的电容元件，以及只表示存储磁场能量特征的电感元件。图 1-1-1 所示为三种理想元件的符号模型。它们均为二端元件。

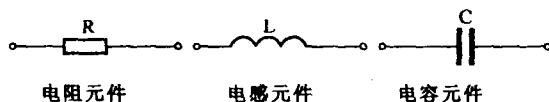


图 1-1-1 三种理想元件的符号模型

由理想元件组成的电路称为电路模型，简称电路。用理想元件的符号模型代替实际电路的各个部件，这样画出的图就称为电路模型图，简称电路图。在今后的电路分析中除非特别说明之外，所分析研究的对象均为电路模型而非实际电路。所画的电路图均为电路模型图。

理想元件是抽象的模型，对理想元件构成的电路进行分析、计算，其结果与其相对应的实际电路中测量所得到的结果基本是一致的。抽象就是理想的过程，元件的电磁特性都分别集总在各个元件内部某一点上。这样的元件称为集总参数元件，简称为集总元件。由集总元件构成的电路称为集总参数电路。

用集总参数电路模型来近似地描述实际电路是有条件的，它要求实际电路的几何尺寸 l 要远小于电路工作时工作频率所对应的波长 λ ，即

$$l \ll \lambda \quad \lambda = c/f \quad c = 3 \times 10^8 \text{ m/s (光速)}$$

集总参数电路的特点是电路中任意两端点的电压和流入任一元件端点的电流是完全确定的，与元件的几何尺寸和空间位置无关。不满足 $l \ll \lambda$ 条件，实际电路就不能按集总参数电路模型来处理，我们把这一类电路称为分布参数电路，例如波导和高频传输线组成的电路，其电路中电压和电流不仅是时间的函数，与元

件的几何尺寸和空间位置有关，而且元件尺寸与工作频率对应的波长可以比拟，这样就不能采用集总参数概念，只能属于分布参数电路。本书只讨论集总参数电路。

第二节 电路的基本变量

在电路分析计算过程中，离不开电路变量的计算。讨论电路问题之前，建立并理解电路变量的基本概念是很重要和必须的。电路中的物理量主要有电荷、电流、电压、磁通、功率和能量。我们把这些物理量称为电路的变量。其中，电流和电压是电路中的基本变量，因为它们可以方便地表示出其它变量，而且如果电路中各部分的电流、电压是已知的，则其电性能是确定的。

一、电 流

电荷的定向移动形成电流。为了从量的方面度量电流的大小，人们引入了电流强度的概念。将单位时间内通过导体横截面的电荷量定义为电流强度，简称为电流，用符号 i 表示，即

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1-2-1)$$

式中 q 为通过导体横截面的电荷量。若 dq/dt 为常数，就是直流电流，常用大写字母 I 表示。当电流随时间变化时，用 $i(t)$ 表示。在国际单位制中，电流、电荷和时间的单位分别为安培 (A) 简称安，库仑 (C) 简称库和秒 (s)，因此，1 安 = 1 库/秒 (1A = 1C/s)。在电力系统中，有时用千安 (kA) 为单位来表示电流的大小。而在通信技术中，由于电流数值较小，常用毫安 (mA)、微安 (μA) 为单位来表示电流的大小。它们之间的换算

关系是

$$1 \text{ kA} = 10^3 \text{ A}$$

$$1 \text{ mA} = 10^{-3} \text{ A}$$

$$1 \text{ } \mu\text{A} = 10^{-6} \text{ A}$$

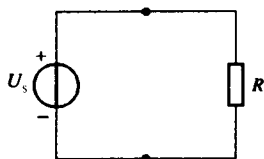


图 1-2-1 单一回路

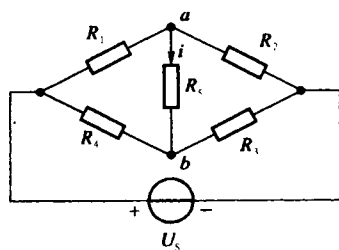


图 1-2-2 桥式电路

电流不但有大小，而且有方向。通常我们规定正电荷的运动方向为电流的实际方向，也叫真实方向，又称正方向。在图 1-2-1 所示的由单一电源构成的简单电路中：电流的实际方向是显而易见的，它是从电源正极流出，流向电源负极的。但在一些稍复杂的电路里，如图 1-2-2 所示桥式电路里，就难以确定 R_5 支路中电流的实际方向。为了电路分析和计算的需要，我们用参考方向解决这个难题。参考方向是人为选定，随便假设的正方向。所以参考方向又称选定正方向。参考方向用箭头标示在电路中，今后若无特殊说明，就认为电路图上所标箭头就是电流的参考方向。按图所标示的方向去分析计算得出电流为正值，说明所设参考方向与实际方向一致；若得出的电流为负值，说明所设参考方向与实际方向相反。显然电流值的正与负是在设定参考方向的前提下，才有意义。没有标明参考方向的电流是无法计算，也是没有实际意义的。因此在求解电路时，必须首先选定电流的参考方向。在图 1-2-2 中，假设 R_5 支路电流的参考方向由 a

指向 b ，若计算出 $i > 0$ （为正值），则参考方向就是电流的实际方向，若计算出电流 $i < 0$ （为负值），则表示电流的实际方向与假定的参考方向相反。

二、电 压

物理学中将单位正电荷从电路中 a 点移到 b 点所获得或失去的能量，称为 a 、 b 两点的电位差，即 a 、 b 间的电压

$$u = \frac{dW}{dq} \quad (1-2-2)$$

式中 dq 为从 a 点移到 b 点的电荷量，单位为库仑（C）， dW 是电荷移动过程中，所获得或失去的能量，单位为焦耳（J），电压的单位为伏特，用 V 表示。电压的单位还有千伏（kV），毫伏（mV），微伏（ μV ），它们的换算关系是：

$$1 \text{ kV} = 10^3 \text{ V}$$

$$1 \text{ mV} = 10^{-3} \text{ V}$$

$$1 \mu V = 10^{-6} \text{ V}$$

若 dW/dq 为常数，就是直流电压，用 U 表示， $u(t)$ 表示电压随时间变化。将电路中任意一点作为参考点，把 a 点到参考点的电位称为 a 点的电压，用符号 u_a 或 U_a 表示。电路中 a 点到 b 点的电压，就是 a 点电位与 b 点电位之差。即

$$u_{ab} = u_a - u_b \quad (1-2-3)$$

习惯上我们认为电压的实际方向是从高电位指向低电位。将高电位点称为正极，低电位点称为负极。即电位降的方向为电压的正方向。

与电流类似，电路中各电压的实际方向或极性往往不能事先确定。在分析电路时，也需要规定电压的参考方向或参考极性。电压的参考极性用“+”、“-”号表示。分别标注在元件或电路

的两端，如图1-2-3所示。通常情况下，如无特殊说明，电路图中的“+”、“-”标号就认为是电压的参考方向。在设定电压的参考方向以后，经过计算得出 $u_{ab} > 0$ ，表明该时刻 a 点的电位比 b 点的电位高；若 $u_{ab} < 0$ ，表明该时刻 a 点的电位比 b 点电位低。可见，有了电压的参考极性和电压的正负值，就可以判断电位的高低，在不标明电压参考极性的情况下，电压的正负毫无意义。当电路中同一电压规定相反参考极性时，相应的电压表达式相差一个负号，即

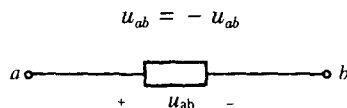


图 1-2-3 电压的参考方向

三、关联参考方向

如前所述，在电路分析中电流的参考方向和电压的参考方向都是随意选定的，所以互不相干。但通常为了分析计算方便，采用关联参考方向，即将两者的参考方向选为一致。也就是说，当电压的参考极性已规定时，电流参考方向从“+”指向“-”；当电流参考方向已规定时，电压参考极性“+”号标在电流参考方向的进入端，如图1-2-4 (a)、(b) 所示。

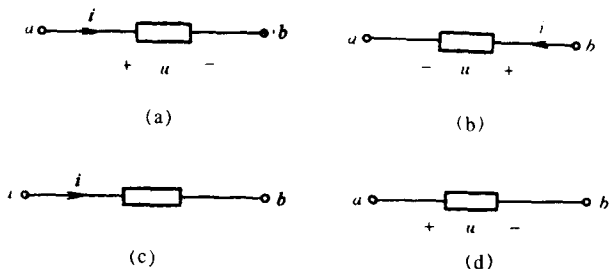


图 1-2-4 关联参考方向

在电流电压采用关联参考方向的条件下，可以只标明电流参考方向，或只标明电压的参考方向。如图 1-2-4 (c)、(d) 所示。若无特殊说明，本书今后均采用电流电压的关联参考方向。

四、电功率

单位时间内电场力做功的大小称为电功率，电功率是描述电路中能量变化速率的物理量，称为瞬时功率，简称功率，用符号 p 表示。功率的数学表达式可写为

$$p = \frac{dw}{dt} \quad (1-2-4)$$

功率的单位为瓦 (W)。

在电路中，人们更关注的是功率与电流、电压之间的关系。由式 (1-2-1) 和式 (1-2-2) 可知。

$$p = u \cdot i \quad (1-2-5)$$

在直流电路中，功率是恒定不变的，用大写字母 $P = UI$ 表示。在电压和电流关联参考方向下，计算出 $P > 0$ 时，元件吸收电能，吸收功率或称消耗功率； $P < 0$ 时，元件实际上是释放电能，产生功率或称供出功率。

当电压和电流为非关联参考方向时，如图 1-2-5 所示，则其公式为

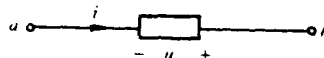
$$p = -u \cdot i \quad (1-2-6)$$


图 1-2-5 非关联参考方向

提醒注意的是一定要根据电压、电流参考方向是否关联，再运用相应的计算功率的公式。但无论是式 (1-2-5) 还是式 (1-2-6) 只需将 i 和 u 本身的数值直接代入即可。因为 u 和 i 本