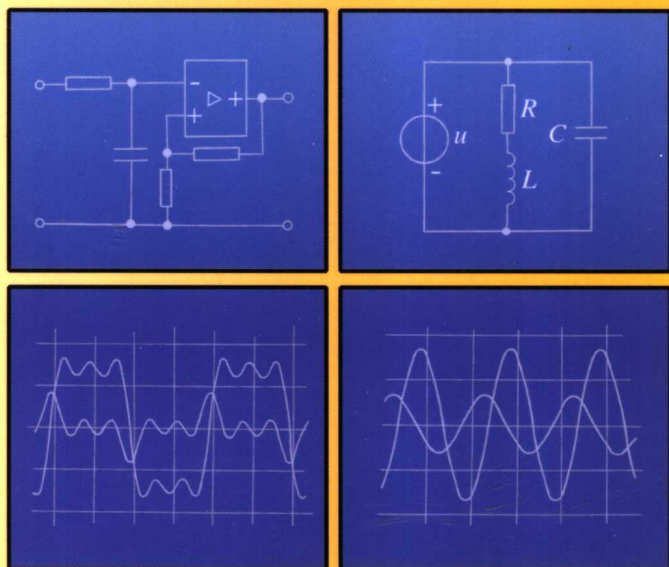


陆文雄 主编

电路原理

(上册)



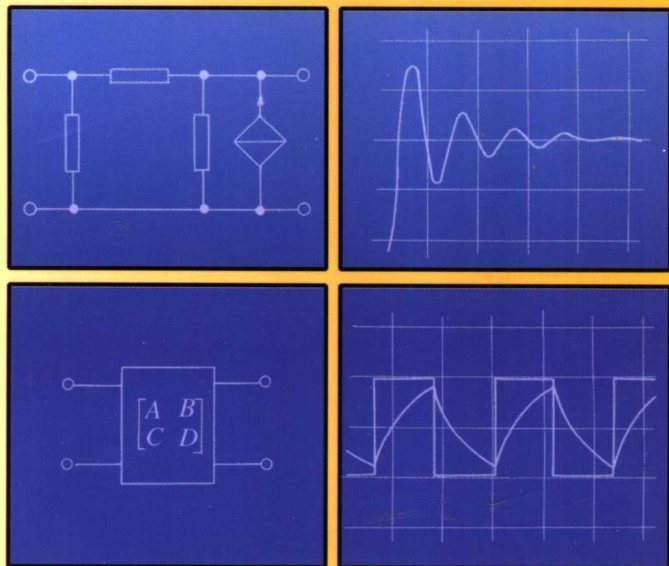
同济大学出版社

DIANLUYUANLI DIANLUYUANLI

陆文雄 主编

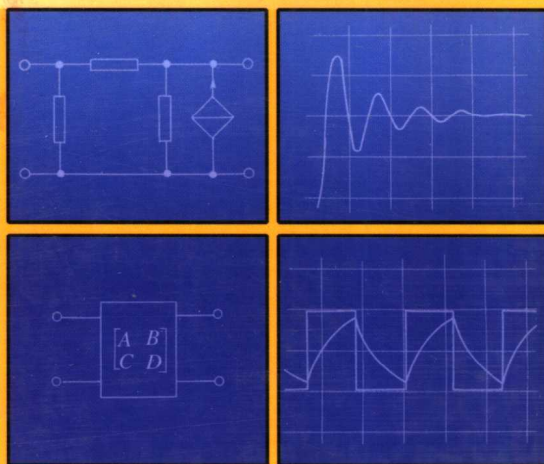
电路原理

(下册)



同济大学出版社

DIANLUYUANLI DIANLUYUANLI



ISBN 7-5608-2575-3



9 787560 825755 >

ISBN7-5608-2575-3/TN · 4

定价 49.80 元 (上、下册)



电 路 原 理

(上 册)

陆文雄 主编

同济大学出版社

电 路 原 理

(下 册)

陆文雄 主编

同济大学出版社

内 容 简 介

本书主要讨论集中参数电路的基本理论和基本分析方法。全书分上、下两册。上册包括电路的基本概念和定律、电阻电路的分析、正弦电流电路的分析、具有互感的电路、三相正弦电流电路、非正弦周期电流电路、受控源和多端元件。下册包括一阶电路和二阶电路、电路的复频域分析、二端口网络、网络方程的矩阵形式、简单非线性电阻电路的分析、磁路与铁芯线圈。每章均附有习题和学习指导,还有供自我检测的练习题,书末还附有习题答案。

本书可作为普通高等学校电力专业和自动控制等专业“电路”课程的教材,也可供计算机等电类少学时专业节选使用,还可供函授、夜大学等成人高校电类专业学生及自学者使用。

图书在版编目(CIP)数据

电路原理/陆文雄主编. —上海: 同济大学出版社,
2003. 7

ISBN 7-5608-2575-3

I. 电... II. 陆... 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(2003)第 004643 号

电路原理 (上、下册)

陆文雄 主编

责任编辑 兰孝仁 张 丁 责任校对 徐 栩 封面设计 陈益平

出 版 行 同济大学出版社

(上海四平路 1239 号 邮编 200092 电话 021-65985622)

经 销 全国各地新华书店

印 刷 同济大学印刷厂印刷

开 本 787 mm×960 mm 1/16

印 张 41.5

字 数 830 000

印 数 1—7 000

版 次 2003 年 7 月第 1 版 2003 年 7 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 7-5608-2575-3/TN·4

定 价 49.80 元(上、下册)

本书若有印装质量问题,请向本社发行部调换

前 言

本教材参照教育部“电路”课程教学基本要求,根据电类专业教学的需要,结合长期以来“电路”课程的教学实践,在使用多年的内部教材的基础上参考有关资料修订编写而成。

本教材共分十三章:电路的基本概念和定律;电阻电路的分析;正弦电流电路的分析;具有互感的电路;三相正弦电流电路;非正弦周期电流电路;受控源和多端元件;一阶电路和二阶电路;电路的复频域分析;二端口网络;网络方程的矩阵形式;简单非线性电阻电路的分析;磁路与铁芯线圈。

在本教材编写中,考虑到不同专业和不同层次的教学特点,在保证基本要求的前提下,力求内容适度、实用,重点和难点逐步引入。如介绍电路分析方法时,先介绍电路分析的基本方法,再分析受控源电路,以免过早引入受控源内容而影响对分析方法的掌握。另外,考虑到学生自学的需要,在每章后均附有学习指导,在概述主要内容及重点的同时,对疑点难点作了进一步的补充解释,可供自学辅导或作为课后复习参考,附带的练习题可供自我检测用。本教材将“磁路和铁芯线圈”列为一章,主要是为满足电力类专业后续电机学课程的需要。本教材可用作普通高等学校电类专业“电路”课程的教材,节选后可供其他电类少学时专业选用,也可供函授、夜大等成人高校电类专业学生、自学者使用。

参加本书编写的有陆文雄、杨尔滨、杨欢红、朱丹平。陆文雄编写第一至七章,并任主编;杨尔滨编写第八、九章;杨欢红编写第十、十一章;朱丹平编写第十二、十三章。本教材编写过程中,陆士杰同志为书稿提供了宝贵的资料和修改意见,在此表示诚挚的感谢。由于编者水平有限,书中难免存在一些缺点和错误,希望广大读者批评指正。

编 者

2003 年 4 月

目 录

前言

第一章 电路的基本概念和定律	1
§ 1-1 电路和电路模型	1
§ 1-2 电流和电压的参考方向	3
§ 1-3 电阻元件	5
§ 1-4 电压源和电流源	7
§ 1-5 功率	9
§ 1-6 基尔霍夫定律	10
习题	15
学习指导	18
练习题	28
练习题答案	29
第二章 电阻电路的分析	30
§ 2-1 电阻的串联、并联和串并联	30
§ 2-2 电阻的 Y 形联接与 Δ 形联接的等效变换	35
§ 2-3 电源的等效变换	39
§ 2-4 电路的图	43
§ 2-5 KCL 和 KVL 的独立方程数	46
§ 2-6 支路电流法	49
§ 2-7 回路电流法	52
§ 2-8 节点电压法	57
§ 2-9 叠加定理	62
§ 2-10 替代定理	66
§ 2-11 戴维南定理和诺顿定理	68
习题	74
学习指导	79
练习题	96
练习题答案	97
第三章 正弦电流电路的分析	98
§ 3-1 正弦量的基本概念	98

§ 3-2 相量法	103
§ 3-3 电阻中的正弦电流	110
§ 3-4 电感元件和电感中的正弦电流	113
§ 3-5 电容元件和电容中的正弦电流	119
§ 3-6 基尔霍夫定律的相量形式	125
§ 3-7 RLC 的串联电路和复阻抗	126
§ 3-8 RLC 的并联电路和复导纳	131
§ 3-9 正弦电流电路的功率	137
§ 3-10 正弦电流电路的计算	145
§ 3-11 电路中的谐振	154
习题	164
学习指导	170
练习题	198
练习题答案	200
阶段测验题(一)	200
第四章 具有互感的电路	202
§ 4-1 互感	202
§ 4-2 具有互感电路的计算	208
§ 4-3 空芯变压器	213
习题	216
学习指导	218
练习题	225
练习题答案	226
第五章 三相正弦电流电路	227
§ 5-1 三相电路	227
§ 5-2 对称三相电路的计算	233
§ 5-3 不对称三相电路	241
§ 5-4 三相电路的功率及其测量	245
习题	252
学习指导	254
练习题	271
练习题答案	271
第六章 非正弦周期电流电路	272
§ 6-1 非正弦量的产生	272
§ 6-2 周期函数分解为傅里叶级数	274

§ 6-3 有效值、平均值和平均功率	281
§ 6-4 非正弦周期电流电路的计算	286
§ 6-5 非正弦周期电流电路中的谐振现象	290
§ 6-6 对称三相电路中的高次谐波	293
习题	299
学习指导	301
练习题	307
练习题答案	308
阶段测验题(二)	308
第七章 受控源和多端元件	310
§ 7-1 受控源	310
§ 7-2 含受控源电路的分析	313
§ 7-3 运算放大器	319
§ 7-4 理想变压器	325
§ 7-5 回转器	328
习题	330
学习指导	333
练习题	341
练习题答案	342
习题答案	343

目 录

第八章 一阶电路和二阶电路	349
§ 8-1 电路的过渡过程	349
§ 8-2 初始值的计算	352
§ 8-3 一阶电路的零输入响应	358
§ 8-4 RC 一阶电路的零状态响应	370
§ 8-5 RL 一阶电路的零状态响应	375
§ 8-6 一阶电路的全响应	382
§ 8-7 一阶电路的等效化简和三要素法	386
§ 8-8 阶跃函数与阶跃响应	394
§ 8-9 冲激函数与冲激响应	401
§ 8-10 二阶电路的零输入响应	408
习题	419
学习指导	425
练习题	434
练习题答案	436
第九章 电路的复频域分析	437
§ 9-1 拉普拉斯变换	437
§ 9-2 拉氏变换的基本性质	442
§ 9-3 拉普拉斯反变换	447
§ 9-4 电路元件电压电流关系的运算形式	456
§ 9-5 电路定律的运算形式	462
§ 9-6 运算法	466
习题	471
学习指导	475
练习题	488
练习题答案	489
阶段测验题(三)	489
第十章 二端口网络	491
§ 10-1 二端口网络及端口条件	491
§ 10-2 二端口网络的方程和参数	493

§ 10-3 二端口网络的等效电路	510
§ 10-4 二端口网络的联接	514
习题	519
学习指导	522
练习题	532
练习题答案	534
第十一章 网络方程的矩阵形式	535
§ 11-1 关联矩阵及 KCL 和 KVL 的矩阵形式	535
§ 11-2 支路方程的矩阵形式	540
§ 11-3 节点分析法	543
§ 11-4 用观察法编写节点电压方程	548
§ 11-5 移源法和改进的节点分析法	552
§ 11-6 基本回路矩阵和基本割集矩阵	557
§ 11-7 特勒根定理	562
习题	565
学习指导	567
练习题	574
练习题答案	574
第十二章 简单非线性电阻电路的分析	575
§ 12-1 非线性电阻元件	575
§ 12-2 非线性电阻电路的图解法	578
§ 12-3 非线性电阻电路的线性化法	583
§ 12-4 小信号分析法	584
习题	586
学习指导	588
练习题	596
练习题答案	597
第十三章 磁路与铁芯线圈	598
§ 13-1 磁场的基本物理量和基本定律	598
§ 13-2 铁磁物质的磁化	603
§ 13-3 磁路的基本定律	608
§ 13-4 恒定磁通无分支磁路 and 对称分支磁路的计算	613
§ 13-5 交变磁通下的铁芯损耗	618
§ 13-6 铁芯线圈的电压、磁通和电流	621
§ 13-7 铁芯线圈的相量图和等效电路	625

习题.....	630
学习指导.....	631
练习题.....	640
练习题答案.....	641
阶段测验题(四).....	641
习题答案.....	643
参考文献.....	649

第一章 电路的基本概念和定律

在日常工作和生活中,到处可以见到实际电路,如通信电路、计算机电路、自动控制电路、电力电路、电气照明电路等等,尽管这些电路的外形、功能、结构等各不相同,但它们都建立在同一个理论基础,这个理论就是电路理论。

电路理论包括电路分析和电路综合(设计)两方面的内容,电路分析是讨论如何在已知的电路中,求出给定激励(输入)的响应(输出);而电路综合则是研究如何设计一个对给定激励有预期的响应的电路。本书只讨论电路分析的内容。

在电路分析中,研究的对象不是实际电路,而是实际电路在一定条件下经科学抽象所得的模型,称之为电路。电路分析主要是掌握电路的基本规律和分析计算方法,基尔霍夫定律是电路理论的根本依据。

本章从建立电路模型和电压、电流参考方向的概念出发,讨论理想电源、欧姆定律、基尔霍夫定律等重要概念。

§ 1-1 电路和电路模型

一、电路

任何实际的电路都是由电工设备和器件等组成的。例如,图 1-1 所示是一个简单的实际电路,它由干电池、小灯泡和两根导线联接而成。另外,如收音机、电视机等,它们的电路是由半导体二极管、三极管、电阻器、电容器、电感线圈、干电池和变压器,还有其他许多电工器件所组成。这些具体的电工设备和器件,都称为实际电路元件。

随着电流的通过,在电路中进行着将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的其他形式能量的过程。典型的例子是电力系统

系统,发电厂的发电机把热能或原子能或水能等转换成电能,通过变压器、输电线传输给各用电单位,在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。图 1-1 所示的简单电路中,干电池把化学能转换成电能,然后在小灯泡中以光能形式释放出来。我们把供给电能的设备称为电源,把贮存和消耗电能的用电设备称为负载,如干电池就称为电源,小灯泡就称为负载。

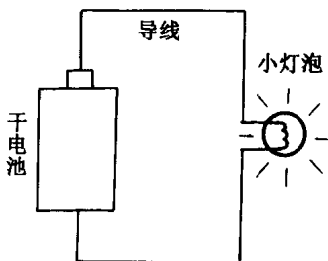


图 1-1 简单的实际电路

电路另一重要的作用是信号处理。以收音机电路为例,电路接收无线电信号,经调谐、检波、放大等处理,从扬声器中可收听到电台的声音。

在其他许多场合,如自动控制设备、计算机、通讯设备等方面,有种类繁多、形式多样的电路。

二、电路模型

实际电路是由实际电路元件按照一定方式联接而成的。实际电路元件种类繁多、功能各异,所涉及的物理过程很广泛,有声、光、热、化、电磁等方面的问题,本课程只关心其中的电磁过程。实际电路元件的电磁性质是由电路中的电流、电压、电荷和磁通来表征的。

为了便于对电路进行定性和定量分析,就需要建立实际电路的模型。实际电路元件虽然品种很多,但在电磁现象方面却有共同的地方,有的元件主要是消耗电能的,如各种电阻器、电灯、电炉等;有的元件主要是供给电能的,如电池和发电机;有的元件主要是储存电场能量的,如各种类型的电容器;有的元件则主要是储存磁场能量的,如各式各样的电感线圈。为此,引入了理想电路元件。理想电路元件是具有某种电磁性质的假想元件,每一个理想电路元件只反映一种电磁现象,例如用“电阻元件”这样一个理想电路元件来反映消耗电能的性质,所有的电阻器、电灯、电炉等实际电路元件都可以近似地用“电阻元件”来表征;实际电路中储存电场能量的性质用“电容元件”来表征;而储存磁场能量的性质则用“电感元件”来表征。因此,实际电路元件就可以用理想电路元件或它们的组合来表示。实际电路中的每一个元件都用理想电路元件或它们的组合来替代,得到的就是对应于原实际电路的电路模型。

理想电路元件有电阻、电容、电感和独立电源,以及理想变压器、回转器和受控源等。每一种理想电路元件都有一个数学模型,它们都有各自精确的定义。电阻元件、电容元件、电感元件和独立电源元件(包括电压源和电流源)是主要的二端理想电路元件。

用抽象的理想电路元件或它们的组合近似地替代实际元件,构成了与实际电路对应的电路模型。用怎样的模型来替代实际电路,这与实际电路的使用条件和所要求的精确程度有关,因此它是对实际电路的电磁性质的科学抽象和概括,我们的分析

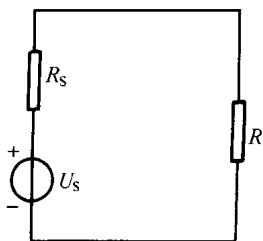


图 1-2 图 1-1 的
电路模型

计算就是根据这种抽象的电路来进行的。例如图 1-1 所示的简单的实际电路,其电路模型如图 1-2 所示,其中电阻元件 R 用来表示小灯泡,干电池则用直流电压源 U_s 和电阻元件 R_s 的串联来表示,由于导线消耗电能很小,其电阻值一般可忽略不计,即可认为它们的电阻为零。其中的图形符号后面将逐步加以说明。

理想电路元件的电磁过程被认为都是集中在元件内部进行的,所以在任何时刻,从具有两个端钮的理想电路元

件的某一端钮流入的电流将恒等于从另一端钮流出的电流,其特性是由端钮间的电压与电流之间的关系(有时还涉及电荷或磁通)来确切地表达的。凡端钮处电流和端钮间电压满足上述情况的电路元件,称为集中参数元件,简称集中元件。由集中元件构成的电路称为集中电路。

电路有时也称网络,它们之间无严格的区别,常混用,一般地说,网络有复杂电路的意思。

用集中电路来模拟实际电路是有条件的,这个条件就是实际电路的尺寸要远小于电路工作时电磁波的波长。本书只考虑集中电路,与集中电路相对应的是分布(参数)电路,由电磁场课程讲授。

§ 1-2 电流和电压的参考方向

一、电流的参考方向

电荷的定向运动即形成电流,习惯上,电流是指正电荷流动的方向。电流在导线中或一个电路元件中流动的实际方向只有两种可能,图 1-3 表示任意一段电路,当有正电荷从 A 端流入,并从 B 端流出时,就认为电流是从 A 端流向 B 端(图 1-3(a)),反之,则认为电流是从 B 端流向 A 端(图 1-3(b))。

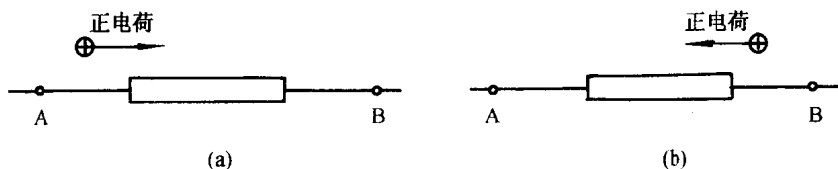


图 1-3 电流的方向

在电路分析中,事先不一定能断定某一段电路中电流的实际方向,有时电流的实际方向还随时间的变化而不断地变化,因此很难在电路中标明电流的实际方向,所以需要引入电流参考方向的概念。

所谓电流参考方向,就是任意指定某一方向作为电流的方向,如图 1-4 所示。

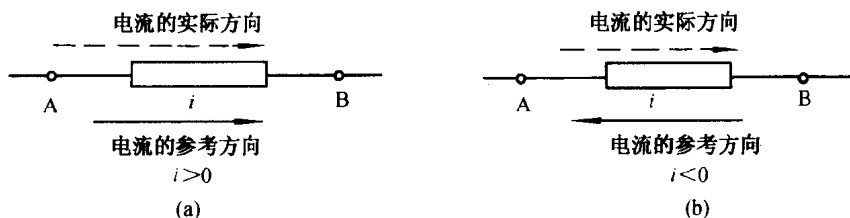


图 1-4 电流参考方向与实际方向的关系

当然,所选的电流方向不一定就是电流的实际方向,根据所指定的参考方向,若电流的参考方向与实际方向一致,则电流为正($i > 0$)(图 1-4(a));反之,若电流的参考方向与实际方向相反,则电流为负($i < 0$)(图 1-4(b))。因此,在指定的参考方向下,电流值的正和负就可以反映出电流的实际方向。

电流的参考方向是任意指定的,在电路中一般用箭头表示,也有用双下标表示的,如 i_{AB} 表示电流参考方向是由 A 指向 B。

二、电压的参考方向

同样,电压也有参考方向 and 实际方向之分。电压的实际方向是从高电位指向低电位,但电压的实际方向往往事先不知道,因此可指定任意一个方向作为某段电路或某一元件上电压的参考方向,当电压的参考方向与它的实际方向一致时,电压为正值($u > 0$)(图 1-5(a));反之,当电压的参考方向与它的实际方向相反时,电压为负值($u < 0$)(图 1-5(b))。因此,在指定的参考方向下,电压值的正和负可以反映出电压的实际方向。

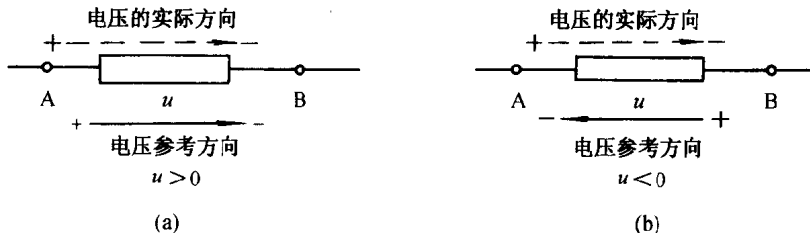


图 1-5 电压参考方向与实际方向间的关系

电压的参考方向也是任意选定的,在电路中,电压的参考方向可以用一个箭头来表示,也可以用“+”与“-”极性来表示,从正极性指向负极性的方向就是电压的参考方向,因此电压的参考方向也称参考极性;电压参考方向还可以用双下标来表示,如 u_{AB} 表示 A 和 B 之间的电压参考方向是由 A 指向 B。

三、关于电流和电压的参考方向的几点说明

1. 电流和电压的参考方向可任意选定,但一旦选定后,在电路的分析和计算过程中不能改变。

2. 引入电流和电压的参考方向后,当电流和电压为时间的函数时,若某一时刻由函数所确定的电流或电压的值为正,则表示在该时刻的实际方向与参考方向一致,反之,若由函数所确定的值为负,则表示该时刻的实际方向与参考方向相反。

3. 对一段电路或一个元件上电流的参考方向和电压的参考方向可各自任意