



中国科学院电子信息与通信系列规划教材

工程电路分析基础

钟洪声 主 编

崔红玲 副主编



科学出版社
www.sciencep.com

内 容 简 介

本书是在集总假设的条件下分析线性非时变电路。在介绍基本概念、基本定理及基本分析方法的基础上,一方面引入先进的计算方法,另一方面尽力介绍工程理念及背景。

全书共分16章,包括五部分内容:电阻电路分析、动态电路分析、正弦稳态电路分析、电路测试基础及网络理论初步。本书重点讲述前三部分,后两部分只作简单介绍,以增加学生的知识面。前三部分的每章配有相应的习题,供学生练习。

本书可作为高等院校工科电子技术类专业本科生的教材,也可供相关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

工程电路分析基础/钟洪声主编. —北京:科学出版社,2007
(中国科学院电子信息与通信系列规划教材)
ISBN 978 7 03 019687 3

I. 工… II. 钟… III. 电路分析—高等学校—教材 IV. TM133

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第128165号

责任编辑:匡敏 余江 杨轶 / 责任校对:包志虹
责任印制:张克忠 / 封面设计:陈敬

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>

双青印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2007年9月第一版 开本:B5(720×1000)

2007年9月第一次印刷 印张:19 1/4

印数:1—3 500 字数:369 000

定价:28.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈路通〉)

《中国科学院电子信息与通信系列规划教材》 编委会

顾问: 保 铮 中国科学院院士 西安电子科技大学
刘永坦 两院院士 哈尔滨工业大学
陈俊亮 两院院士 北京邮电大学

主任: 谈振辉 教授 北京交通大学

副主任: 任晓敏 教授 北京邮电大学
梁昌洪 教授 西安电子科技大学
冯正和 教授 清华大学
张文军 教授 上海交通大学
林 鹏 编审 科学出版社

委员: (按姓氏汉语拼音排序)

段哲民 教授 西北工业大学
顾学迈 教授 哈尔滨工业大学
洪 伟 教授 东南大学
焦李成 教授 西安电子科技大学
李少谦 教授 电子科技大学
毛军发 教授 上海交通大学
沈连丰 教授 东南大学
唐朝京 教授 国防科技大学
王成华 教授 南京航空航天大学
王文博 教授 北京邮电大学
徐安士 教授 北京大学
严国萍 教授 华中科技大学
杨建宇 教授 电子科技大学
姚 彦 教授 清华大学
张宏科 教授 北京交通大学
张晓林 教授 北京航空航天大学

秘 书: 段博原 编辑 科学出版社

丛 书 序

信息技术的高速发展及其广泛应用,使信息技术成为当今国际竞争中最重要
的战略技术。信息技术对经济建设、社会变革乃至国家安全起着关键性的作用,它
是经济发展的“倍增器”和社会进步的“催化剂”,是体现综合国力的重要标志。在
人类历史上,没有一种技术像信息技术这样引起社会如此广泛、深刻的变革。在 20
世纪末和 21 世纪前半叶,信息技术乃是社会发展最重要的技术驱动力,可以说,21
世纪人类已经步入了信息时代。信息产业在世界范围内正在由先导产业逐步变为
主导产业。从微观上看,表现为单位产品的价格构成中,能源和材料的消耗减少而
信息技术和信息服务的比重上升;从宏观上看,表现为国民生产总值(GDP)中
信息产业所占的比重增加。一个国家信息产业的发展水平将是衡量该国社会经济总
体发展和现代化程度的重要标志之一。

目前,信息科学已成为世界各国最优先发展的科学之一。党的十六大提出了
“加速发展信息产业,大力推进信息化,以信息化带动工业化”的发展战略,以及“优
先发展信息产业,在经济和社会领域广泛应用信息技术”的基本国策,使我国信息
产业得到了前所未有的重视,信息产业呈现出飞速发展的势头。信息产业的发展
离不开信息化人才,信息化人才建设将是信息产业可持续发展的关键。然而,有关
调查表明,我国国家信息化指数为 38.46,而信息化人才资源指数仅为 13.43。据
权威机构预测,从 2005 年到 2009 年,中国信息行业将以 18.5% 的年复合增长率
高速增长,中国信息市场将迎来又一个“黄金年代”。

为了适应新世纪信息学科尤其是电子信息与通信学科的长足发展,在规模上、
素质上更好地满足我国信息产业和信息科学技术的发展需要,更好地实现电子信
息与通信学科专业人才的培养目标,推进国内信息产业的发展,中国科学院教材建
设专家委员会和科学出版社组织电子信息与通信领域的院士、专家、教学指导委
员会成员、国家级教学名师及电子信息与通信学科院校的相关领导等组成编委会,共
同组织编写这套《中国科学院电子信息与通信系列规划教材》。

本套教材主要面向全国范围内综合性院校电子信息工程、通信工程、信息工程
等相关专业的本科生。本套教材的编委会成员具有国内电子信息与通信方面的较
高学术水平,他们负责对本套教材的编写大纲及内容进行审定,可使本套教材的质

量得以保证。

本套教材主要有以下几方面的特点：

1. 适应多层次的需要。依据最新专业规范，系列教材主要根据教育部最新公布的电子信息与通信学科相关专业的“学科专业规范”和“基础课程教学基本要求”进行教材内容的安排与设置。同时，根据各类型高校学生的实际需要，编写不同层次的教材。

2. 结构体系完备。本套教材覆盖本科、研究生教学层次，各门课程的知识点之间相互衔接，以便完整掌握学科基本概念、基本理论，了解学科整体发展趋势。

3. 作者水平较高。我们将邀请设有电子、通信国家重点学科的院校，以及国家级、省级教学名师或国家级、省级精品课程负责人编写教材。

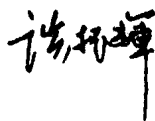
4. 借鉴国外优秀教材。编委会为每门课程推荐一本国外相关的经典原版教材，作为教师编写的参考书。

5. 理论与实际相结合，加强实践教学。教材编写注重案例和实践环节，着力于学生实际动手能力的培养。

6. 教材形式多样。本套教材除主教材外，还配套有辅导书、教师参考书、多媒体课件、习题库及网络课程等。

根据电子信息与通信学科专业发展的战略要求，我们将对本套系列教材不断更新，以保持教材的先进性和适用性。热忱欢迎全国同行以及关注电子信息与通信领域教育及教材建设的广大有识之士对我们的工作提出宝贵意见和建议。

北京交通大学校长



2005年10月

前 言

电路分析基础是电子信息类专业的第一门专业基础课,是电子工程师的入门课程。当今电子技术飞速发展、应用广泛,促进了信息化社会的到来,电子技术深刻地改变了人类的生产和生活方式,同时也带来了电子基础课程教学内容和教学方式的改革。如计算机作为一个工具,带来了电路分析、设计方法和手段的进步。

电子技术主要研究电荷宏观运动的规律及如何有效地利用这些规律,电荷运动形成电流,电流的有序运动可以形成电功率的有序传输(电力系统),也可以形成信号的有序运动(电子信息系统)。

自从1837年美国莫尔斯首先试验成功电报机,人类就开始利用电荷运动来传递信息。尽管今天电子技术已经比当时先进了上万倍,但是基本的原理没有根本的变化,电流受控运动被约定为信号运动的表达形式,信号运动实现信息流的有序运动。今天的通信系统、计算机系统、广播电视系统、网络系统、遥控遥测、雷达、导航系统等无一例外,都是利用了电荷有序运动。

电路分析基础这门课程就是认识电荷有序运动的基础,本课程是在集总假设的条件下,重点认识线性非时变电路模型。本书所讲的电路模型,广义来说也就是数学模型。有了数学模型,数学方法被有效地应用到电路分析与设计中,如微积分、线性代数、复变函数等。

电路分析基础重点是基本概念、基本定理及基本的分析方法,具有比较完整的理论体系,鉴于电子技术的实用背景,工程理念更为重要。另外,随着数学分析方法的进步,教学内容的分析手段也应该随之进步。

因此,本书具有以下几个特点:

(1) 对于基础内容的阐述力求简练、准确、清晰、易懂,注重学生对物理概念的理解和掌握。

(2) 例题和习题与教学内容相配合,不介绍难题和偏题,有利于学生掌握基本的分析方法。

(3) 引入 Matlab 作为辅助工具求解的电路,注重电路矩阵方程的建立和分析,不刻意拼凑数据。

(4) 适量地引入电路实验,以增强学生对工程实践的感性认识。

(5) 最后一章网络理论简介,让学生的认识有一定深度。

本书共分 16 章:第 1 章阐述电路的基础知识,第 2 章讲解电路的基本分析方法,第 3 章介绍网络定理,第 4 章介绍理想变压器和运算放大器,第 5 章简介 Matlab 作为电路分析的辅助工具,第 6 章介绍动态元件,第 7 章探讨了由直流电源驱动的一阶电路的暂态响应,紧接着第 8 章介绍了二阶电路的暂态响应,从第 9 章开始讲述正弦稳态电路的分析,第 10 章介绍交流电,将三相电路单独作为第 11 章介绍,以满足不同专业的需求,第 12 章讲解磁耦合电路,第 13 章为双口网络,第 14 章讲电路的频率特性,第 15 章引入电路测试,第 16 章介绍网络理论初步。

本书是根据国家教育委员会颁布的“高等学校工科本科电路分析基础课程教学基本要求”,结合工程实际以及编者 20 年的教学与科研经验编写而成的。

本书由钟洪声主编,崔红玲主要编写了第 15 章和各章习题。

由于编者水平有限,书中难免有不妥之处,敬请读者批评指正。

钟洪声

2007 年 6 月

目 录

丛书序

前言

第 1 章 电路基础知识	1
1.1 电路及电路模型	2
1.2 电路的基本物理量	4
1.3 基尔霍夫定律	9
1.4 电阻.....	12
1.5 独立电压源和独立电流源.....	15
1.6 受控源.....	18
1.7 单口网络.....	19
1.8 分压电路与分流电路.....	24
1.9 电路方程.....	25
1.10 支路电流法和支路电压法	27
习题	28
第 2 章 节点和网孔分析法	35
2.1 节点分析法.....	35
2.2 网孔分析法.....	44
2.3 本章小结.....	51
习题	52
第 3 章 网络定理	55
3.1 叠加定理.....	55
3.2 戴维南定理.....	59
3.3 诺顿定理.....	64
3.4 最大功率传输定理.....	68
3.5 替代定理.....	73
习题	74
第 4 章 理想变压器和运算放大器	79
4.1 理想变压器.....	79
4.2 运算放大器的特性.....	82
习题	86

第 5 章	计算机辅助分析简介	89
5.1	电阻电路方程建立	89
5.2	线性代数方程求解	91
5.3	常用电路分析软件介绍	91
第 6 章	电容与电感	93
6.1	电容	93
6.2	电感	98
6.3	电路方程	101
6.4	初始条件	102
	习题	104
第 7 章	一阶电路	107
7.1	RL 电路分析	107
7.2	RC 电路	112
7.3	三要素法	116
7.4	一阶电路的分段响应	119
7.5	阶跃函数和阶跃响应	122
7.6	非直流条件下一阶电路分析	123
	习题	125
第 8 章	二阶电路	128
8.1	RLC 串联电路的分析	128
8.2	RLC 并联二阶电路	138
8.3	一般二阶电路	139
	习题	141
第 9 章	正弦稳态电路分析	143
9.1	正弦信号	143
9.2	相量	145
9.3	基尔霍夫定律的相量形式	149
9.4	阻抗	151
9.5	正弦稳态分析	154
9.6	单口网络相量模型	160
9.7	正弦稳态的叠加	165
	习题	167
第 10 章	交流功率分析	174
10.1	有效值	174
10.2	平均功率	175

10.3	最大平均功率传输定理	180
10.4	功率因数及其补偿	183
10.5	复功率*	190
10.6	平均功率的叠加	191
	习题	195
第 11 章	三相电路	200
11.1	Y-Y 连接三相电路	202
11.2	Y- Δ 连接	204
11.3	Δ - Δ 连接与 Δ -Y 连接	206
11.4	对称三相电路的功率	207
	习题	209
第 12 章	磁耦合电路	213
12.1	含耦合电感的电路分析	213
12.2	耦合电感的串、并联	217
12.3	耦合电感的去耦等效电路	219
12.4	耦合电感的理想变压器模型	222
	习题	225
第 13 章	双口网络	229
13.1	Z 参数	230
13.2	Y 参数	234
13.3	H 参数	236
13.4	G 参数及传输参数	238
13.5	互易定理	241
	习题	244
第 14 章	网络函数及频率参数响应	246
14.1	网络函数	246
14.2	幅频、相频特性	247
14.3	RC 滤波器	249
14.4	波特图	250
14.5	谐振电路	251
14.6	RLC 构成的带通滤波器	256
	习题	258
第 15 章	电路测试	261
15.1	常用测试仪器介绍	261
15.2	常用测试方法介绍	271

15.3	误差分析	275
15.4	故障分析	278
第 16 章	网络理论初步	280
16.1	图论初步	280
16.2	电路基本定律	285
16.3	回路分析	287
16.4	割集分析法	290
参考文献		293

第 1 章 电路基础知识

电路主要研究电荷有序运动的基本规律及其特性。电荷存在于自然界中,如一个氢原子由一个电子和一个原子核构成,电子带负电荷,原子核带正电荷。当电子脱离原子核之后,带负电荷,称为自由电子;失去电子的原子称为离子。电子和离子也称带电粒子,带电粒子的有序运动形成电流。

本课程主要是从工程领域研究电荷的运动规律。从大学物理知道,在电场中,电荷受到电场力的作用,将沿电场的方向运动。电荷的有序运动就形成电流,当电流沿金属导线运动时,通常绝大部分带电粒子被约束在金属导线内运动,这也就是电路。

人类很早就认识电,但用电还是近一两百年的事情。自从电子技术工程化之后,人类进入了一个全新的时代。从电气化到信息化,电子技术的发展深刻地改变着人类的生产方式和生活方式。

利用电荷的有序运动,得到两个重要方面的应用。一个方面,传输能量,也就是电能。正是利用这一特性,人类建立了电力工程系统,电能已经成为现代人类生活不可缺少的能源形式。另一方面,传输信息,已经被广泛地应用,人类已经建立了通信系统、网络工程、探测系统、计算机工程等。

从大学物理知道,电流的传输速度是光速,电流的这一速度实际是电场的速度,并不是电荷本身的移动速度,因此,也称其为波动。波动的频率、波长和速度之间有如下关系:

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (1.1)$$

c 为光速,真空中约为 $3 \times 10^8 \text{m/s}$, λ 为波长, f 为信号频率。

电流在金属导线内流动,其电能分布并非完全在金属导线之内,特别是波长与导线成一定比例时,将会产生辐射效应。这时电流的运动规律比较复杂,按电场的规律运行。其规律可在“电磁场与波”课程中学习。

如果电流的波长远大于电路的几何尺寸,辐射效应很小,可以忽略不计。换句话说,这时电流的能量完全分布在金属导线和电路元件之内,称为集总假设或集总电路。故集总参数电路的条件是

$$\lambda \gg L \quad (1.2)$$

L 是电路或导线的几何尺寸。例如,电力系统电流的工作频率 50Hz ,其波长是

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8}{50} = 6 \times 10^6 (\text{m})$$

即波长为 6000km。在一个城市内,电力系统的几何尺寸远小于 6000km,因此符合集总假设的条件。

若电流信号的工作频率增高,波长减小,如信号频率为 2.4GHz,由(1.1)式可计算出波长是 12.5cm,这时的电路设计很难再满足集总假设条件。

本课程以集总假设为前提条件,研究在集总假设条件下,电荷在电路中运动的基本定律、基本定理及分析电路的基本方法。

在实际工程应用中,电器、电子设备和电子系统都具有特定的功能,根据应用领域可分为:军事电子(如雷达、电子对抗、自动指挥系统等),工业领域(如数控机床、电镀加工、电解、工业机器人等),邮电领域(如电话通信、移动通信、互连网络等),交通运输(如电力机车、电动车、航空、航海、导航等),日常生活(如电梯、微波炉、冰箱、电脑等)。总之,当今世界的各个领域,几乎都离不开电子技术,而所有电子技术的平台系统都是由基本电路构成。可以这样比喻,所有高楼大厦由基本材料如砖瓦构建而成,所有的电子系统、设备都由基本电路构建而成。因此电路基础知识是电子工程师必备的基本知识。

1.1 电路及电路模型

电路是由元器件和导线连接构成的有机组合。在工程实际中,电路通常指具有某一特定功能的单元,具有多种不同功能的单元所组成更大的电路,通常也称为系统。电路与系统没有严格的界限,但是一般系统是由多个不同类型的电路构成,大型的系统有时也叫网络,如通信网络。不过在电路层面,也将复杂的电路称为电路网络。因此在听到这些名词时,应根据具体情况来理解。

以收音机为例,它由多个电路单元构成,其原理框图如图 1.1 所示。

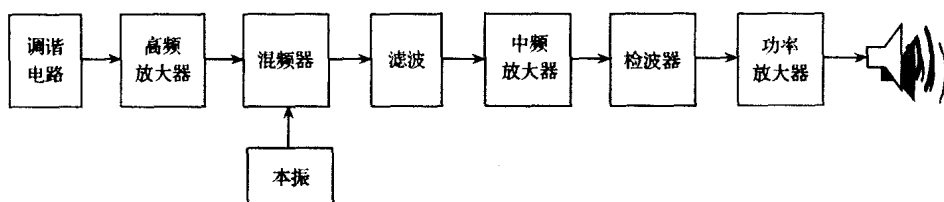


图 1.1 收音机原理框图

从收音机原理框图中,可以认识到,每个电路完成一定的功能。如混频器,将载波信号下变频到中频信号;又如音频放大器,将声音信号放大并驱动扬声器,将电信号还原为声音信号。

通过对收音机的简单介绍,可对电路有一个基本的认识。电路是由基本的元器件构成,而元器件的实际物理关系比较复杂,也就是说,要将一个元件的物理关系(在此一般是指其电压电流关系)准确地用数学模型描述出来,是比较复杂的。数学

建模是定量分析问题的重要手段,电路的定量分析也不例外,首先需要建立元器件的数学模型,在建立数学模型时,只需考虑其主要的物理关系,忽略影响物理特性的次要因素,使其物理关系简洁,数学表达式尽可能简单。

例如,一个线绕电阻,如图 1.2(a)所示,在低频信号条件下,其反映出来的特性是一个纯电阻,因此,可以用欧姆定律表达其电压电流关系

$$u = Ri \quad (1.3)$$

但是如果在高频条件下,该数学表达式就不能够准确反映真实的电压电流关系,必须对数学模型进行修改。高频时线绕式电阻的磁场作用突显,具有一定的电感效应,同时导线之间具有耦合,有一定电容效应,因此,在此条件下,用图 1.2 中(c)所示的数学模型,能更真实地反映其物理关系。

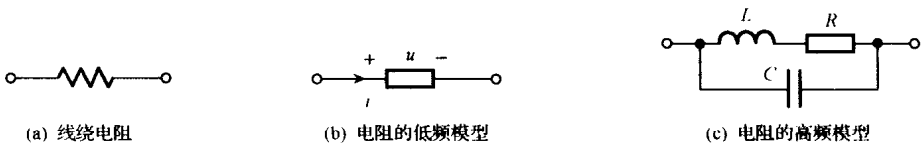


图 1.2 电阻的数学模型

为了简化电路的分析,本书主要考虑低频信号条件,采用简单模型。事实上,在低频时,纯电阻模型能够准确地反映客观规律。只要理论分析结果与实际电路测试结果的误差控制在可以接受的范围之内,这种理论分析是有意义的。

电路模型:用数学表达式反映元器件之间的物理关系,称为数学模型;在电路分析中,常用电路符号来反映这种关系,因此称为电路模型。电路模型反映了电路的主要物理关系,但是并不能完全反映电路的物理关系,特别是在不同条件下的物理关系。电路模型不能和电路等同。本书中所讨论的电路一般是指电路模型,换句话说电路一词扩展其含义,一方面是简化表述,另一方面也是习惯术语。

以手电筒为例,电路原理如图 1.3 所示,根据原理抽象出电路模型如图 1.4 所示。在电路模型图中,电灯用电阻替代,该电阻实际上就是一个数学模型。在正常稳定工作时,电阻可以比较准确地反映电灯的电压电流关系。但是电路模型表达的是一个抽象的数学关系,电路模型本身不直接反映具体电路,电阻上的电压电流可以对应电灯上的电压电流,也可以反映其他电路的物理关系,比如电池对手机供电电路,手机电路作为负载,同样可以用一个电阻作为模型。

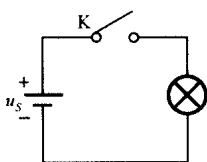


图 1.3 手电筒原理图

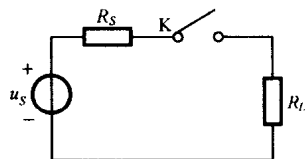


图 1.4 手电筒的电路模型

电路原理符号:如表 1.1 所示,电路原理行业标准。

表 1.1 电路原理图常见符号

名称	符号	名称	符号	名称	符号
独立电流源		理想导线		电容	
独立电压源		连接的导线		电感	
受控电流源		电位参考点		理想变压器 耦合电感	
受控电压源		理想开关		回转路	
电阻		开路		理想运放	
可变电阻		短路		二端元件	
非线性电阻		理想二极管			

1.2 电路的基本物理量

描述电荷有序运动的基本物理量主要有电压、电流、功率等。本书的基本要求是能够对一个电路中的电压、电流、功率进行定量的分析计算。

为了更准确地表达电路中物理量,在介绍这些基本物理量之前,先给出基本的物理的单位。具体如表 1.2 和表 1.3 所示。

表 1.2 基本单位

长度	时间	电流	功率	能量	电荷	电压	电阻	电感	电容
米	秒	安培	瓦特	焦耳	库仑	伏特	欧姆	亨利	法拉
m	s	A	W	J	C	V	Ω	H	F

表 1.3 国际单位制词头

因数	10^{12}	10^9	10^6	10^3	10^{-3}	10^{-6}	10^{-9}	10^{-12}	10^{-15}
名称	太	吉	兆	千	毫	微	纳	皮	飞
符号	T	G	M	k	m	μ	n	p	f

一般采用标准单位,如长度 80000m 可以表达为 80km。又如 0.00008m 可以

表达为 $80\mu\text{m}$ 。

1.2.1 电荷与电流

电荷是电子或带电离子,符号 q ,单位库仑,简称库,国际电工标准代号“C”。电荷有序地运动,形成电荷流,这种电荷流就称为电流。

电流用符号 i 或 I 表示。电荷沿导线的运动如图 1.5 所示,为了定量描述电流,将电流表述为单位时间内通过导体横截面的电荷。

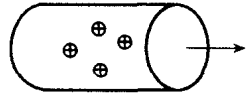


图 1.5 电荷在导线内运动

数学表达式为

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1.4)$$

电流单位是安培,简称安,国际代号“A”。

$$1 \text{ 安培} = 1 \text{ 库仑/秒}$$

$$1 \text{ 个电子的电荷量} = -1.602 \times 10^{-19} \text{ 库仑}$$

$$1 \text{ 库仑的电荷} = 6.24 \times 10^{18} \text{ 个电子}$$

习惯以正电荷移动的方向定义为电流的正方向,否则相反。

例 1.1 一根导线的某截面,0.2s 时间内通过 3.12×10^{18} 个电子,问其平均电流为多少?

解 可知 3.12×10^{18} 个电子所带电荷量是 $q = \frac{3.12 \times 10^{18}}{6.24 \times 10^{18}} = 0.5(\text{C})$,再根据

$$(1.4) \text{ 式得 } i = \frac{dq}{dt} = \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{0.5}{0.2} = 2.5(\text{A}).$$

电流很容易用电流表测量,因此,当已知电流时可求某一时间段的电荷:

$$q = \int_{t_0}^t i dt \quad (1.5)$$

例 1.2 测得某一根导线的电流是 100mA,计算 2s 内通过它的电荷。

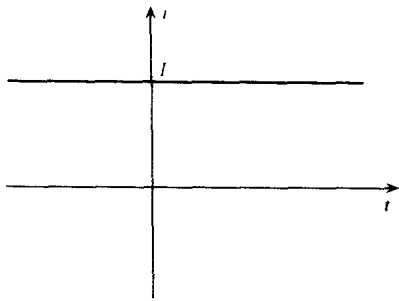
解 根据(1.5)式可得 $q = \int_0^2 0.1 dt = 0.2(\text{C})$ 。

一般来说,电流分为 3 种类型:直流电流、交流电流、随机电流。

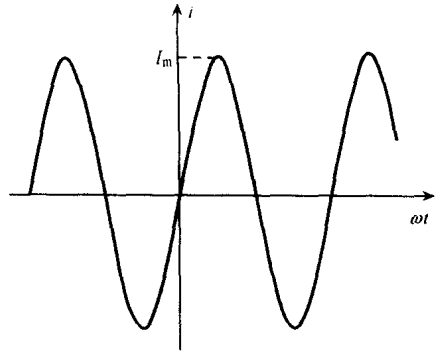
直流电流(DC):在任意时间保持恒定的电流。习惯用大写的“ I ”表示,如图 1.6 中(a)所示。工程实际中直流电流应用广泛,如电池对负载提供的电流,直流电源的电流等。

交流电流(AC):随时间按周期变化的电流。如按正弦函数规律变化的电流,习惯用小写的“ i ”表示,如图 1.6 中(b)所示。电力系统的电流,就是典型交流电的例子,该交流电流的频率为 50Hz。

随机电流:随时间任意变化,没有固定规律。习惯用 i 或 $i(t)$ 表示,这种电流方式常见于随机信号中,如传输的声音信号、图像信号等。



(a) 直流电流



(b) 交流电流

图 1.6 直流电流和交流电流

1.2.2 电压

当电荷在电路中有序运动,会出现能量的变化,将这种能量变化定量地描述出来,就是电压。用能量 W 表示,电压 u 的数学表达式为

$$u = \frac{dW}{dq} \quad (1.6)$$

电压的单位:伏特,简称伏,国际代号“V”。

1 伏特 = 1 焦耳/库仑

电压也叫电位差,反映了电路中的能量分布关系,可以这样理解,沿电路电场分布梯度使得电位的高低也相应分布,不同点之间有电位差。因而电荷在电路中移动时,会有能量的减少或者增加。如图 1.7 所示,

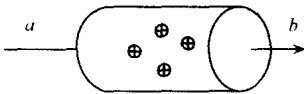


图 1.7 电位差示意图

1 库仑的电荷从 a 点移动到 b 点,电荷失去能量 1 焦耳,则 a 到 b 的电位差是 1 伏特 ($U_{ab} = 1V$)。反之,如果电荷从 a 点移动到 b 点,1 库仑电荷获得

1 焦耳能量,习惯上称 a 到 b 的电位差是 -1 伏特 ($U_{ab} = -1V$)。

习惯上将电压下降的方向认为是电压的正方向。在电路中,可以交换两点描述,有

$$U_{ab} = -U_{ba}$$

例 1.3 一个电灯工作 1 小时,耗电 0.05 度,平均电流 0.227A,问电灯上的电压是多少?

解 根据常识,1 度 = 1000W · h(瓦 · 小时),1 小时 = 3600 秒,那么

$$1 \text{ 度} = 1000 \times 3600 = 3600000 \text{ (瓦} \cdot \text{秒)}$$

1 小时灯的耗能 0.05 度 = 180000 瓦 · 秒 = 180000 焦耳。

1 小时流过灯的电荷 $0.227 \times 3600 = 817.2$ (库仑)。

根据(1.6)式,有 $u = \frac{\Delta W}{\Delta q} = \frac{180000}{817.2} \approx 220 \text{ (V)}$,故电灯上的平均电压是 220V。