



新编21世纪高等职业教育电子信息类规划教材

· 应用电子技术专业

电路基础

· 于占河 主 编

· 于 静 杨爱琴 副主编 · 牛金生 主 审

13



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

教育部《高等学校计算机专业核心课程教学基本要求》推荐教材

教育部《高等学校计算机专业核心课程教学基本要求》

电路基础

第二版

主编 阎石 副主编 李朝晖 王云



清华大学出版社

http://www.tup.tsinghua.edu.cn

新编 21 世纪高等职业教育电子信息类规划教材·应用电子技术专业

电 路 基 础

于占河 主 编

于 静 副主编
杨爱琴

牛金生 主 审

電 子 工 業 出 版 社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书是以教育部制定的《高职高专教育电路基础课程教学基本要求》为依据编写的,并经2002年11月在杭州召开的全国高职教育教材研讨会议审定通过,作为高职高专电子技术应用(电子电器应用与维修)专业的教材。

本书主要内容有:直流电路、正弦稳态电路、谐振电路、三相电路、二端口网络、非正弦周期电路、电路的暂态分析、磁路及铁心线圈电路、微电机、基础实验,需90~100学时。

本书特点是:注重培养学生的技术应用能力和职业素质,分散难点,突出重点,把握概念,推进认知,注重基础理论的实用性,在掌握主要理论知识的同时,侧重于实际电器、电路的应用。

本书可作为高职高专院校应用电子技术专业的专业基础教材,也可用做函授、成人高校或自学教材。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

电路基础/于占河主编. —北京:电子工业出版社,2003.8

新编21世纪高等职业教育电子信息类规划教材. 应用电子技术专业

ISBN 7-5053-8757-X

I. 电… II. 于… III. 电路理论—高等学校:技术学校—教材 IV. TM13

中国版本图书馆CIP数据核字(2003)第071492号

责任编辑:周光明

印 刷:北京牛山世兴印刷厂

出版发行:电子工业出版社 <http://www.phei.com.cn>

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编100036

经 销:各地新华书店

开 本:787×1092 1/16 印张:13.75 字数:352千字

版 次:2003年8月第1版 2003年8月第1次印刷

印 数:6000册 定价:18.00元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系。联系电话:(010) 68279077

出版说明

高等职业教育是我国高等教育的重要组成部分。其根本任务是培养和造就适应生产、建设、管理、服务第一线需要的德、智、体、美全面发展的高等技术应用型人才。近年来,高等职业教育发展迅猛,其宏观规模发生了历史性变化。为适应我国社会进步和经济发展的需要,高等职业教育的教学模式、教学方法需要不断改革,高职教材也必须与之相适应,进行重新调整与定位,突出自身的特色。为此,在国家教育部、信息产业部有关司局的支持、指导和帮助下,电子工业出版社在全国范围内筹建成立“全国高职高专教育教材建设领导小组”,下设“应用电子技术”、“机电一体化技术”、“电气自动化技术”和“通信技术”等专业的多个编委会。各专业编委会成员由电子信息战线辛勤耕耘、功绩卓著的专家、教授、高工和富有高职教学经验的一线优秀教师组成。

2002年10月,“应用电子技术”、“机电一体化技术”、“电气自动化技术”和“通信技术”等四个专业的编委会精心组织全国范围内的优秀一线教师编写了《新编21世纪高等职业教育电子信息类规划教材》60余种。这批教材的主要特点是:

1. 在编写方法上打破了以往教材过于注重“系统性”的倾向,摒弃了一些一般内容和烦琐的数学推导,采用阶跃式、有选择的编写模式,强调实践和实践属性,精炼理论,突出实用技能,内容体系更加合理;

2. 注重现实社会发展和就业需求,以培养职业岗位群的综合能力为目标,充实训练模块的内容,强化应用,有针对性地培养学生较强的职业技能;

3. 教材内容的设置有利于扩展学生的思维空间和学生的自主学习;着力于培养和提高学生的综合素质,使学生具有较强的创新能力,促进学生的个性发展;

4. 教材内容充分反映新知识、新技术、新工艺和新方法,具有超前性、先进性。

首批教材共有60余种,将于2003年8月陆续出版。所有参加教材编写的高职院校都有一个共同的愿望:希望通过教材建设领导小组、编委会和全体作者的共同努力,使这批教材在编写指导思想、编写内容和编写方法上具有新意,突出高等职业教育的特点,满足高职学生学习和就业的需要。

高等职业教育改革与教材建设是一项长期的任务,不会一蹴而就,而是要经历一个发展过程。这批高职教材的问世,还有许多不尽人意之处。随着教育的不断深化,我国经济和科学技术的不断发展,高职教材的改革与开发将长期与之相伴而行。在教育部和信息产业部的指导和帮助下,我们将一如既往地依靠本行业的专家,与科研、教学第一线的教研人员紧密联系,加强合作,与时俱进,不断开拓,逐步完善各类专业课教材、专业基础课教材、实训指导书、电子教案、电子课件及配套教材,为高等职业教育提供优质的教学资源和服务。

电子工业出版社高职高专教育教材事业部的全体成员殷切地希望全国高职高专院校的教师们能够踊跃投稿,提出选题建议,并对已出版的教材从多方面提出修改建议。除以上四个专业外,我们还设立了“计算机技术”、“电子商务”、“物流管理”、“会计类”、“金融类”、“环保类”等专业的编委会。我们衷心欢迎更多的志士仁人加入到各个编委会中来。

电子工业出版社的全体员工将竭诚为教育服务,为高等职业教育战线的广大师生服务。

全国高职高专教育教材建设领导小组
电子工业出版社

参加“新编 21 世纪高等职业教育电子信息类规划教材” 编写的院校名单（排名不分先后）

桂林工学院南宁分院	湖北孝感职业技术学院
江西信息应用职业技术学院	江西工业工程职业技术学院
江西蓝天职业技术学院	四川工程职业技术学院
吉林电子信息职业技术学院	广东轻工职业技术学院
保定职业技术学院	西安理工大学
安徽职业技术学院	辽宁大学高职学院
杭州中策职业学校	天津职业大学
黄石高等专科学校	天津大学机械电子学院
天津职业技术师范学院	九江职业技术学院
福建工程学院	包头职业技术学院
湖北汽车工业学院	北京轻工职业技术学院
广州铁路职业技术学院	黄冈职业技术学院
台州职业技术学院	郑州工业高等专科学校
重庆工业高等专科学校	泉州黎明职业大学
济宁职业技术学院	浙江财经学院信息学院
四川工商职业技术学院	南京理工大学高等职业技术学院
吉林交通职业技术学院	南京金陵科技学院
连云港职业技术学院	无锡职业技术学院
天津滨海职业技术学院	西安科技学院
杭州职业技术学院	西安电子科技大学
重庆职业技术学院	河北化工医药职业技术学院
重庆工业职业技术学院	石家庄信息工程职业学院
广州大学科技贸易技术学院	三峡大学职业技术学院

桂林电子工业学院高职学院

桂林工学院

南京化工职业技术学院

湛江海洋大学海滨学院

江西工业职业技术学院

江西渝州科技职业学院

柳州职业技术学院

邢台职业技术学院

漯河职业技术学院

太原电力高等专科学校

苏州工商职业技术学院

金华职业技术学院

河南职业技术师范学院

新乡师范高等专科学校

绵阳职业技术学院

成都电子机械高等专科学校

河北师范大学职业技术学院

常州轻工职业技术学院

常州机电职业技术学院

无锡商业职业技术学院

河北工业职业技术学院

天津中德职业技术学院

安徽电子信息职业技术学院

浙江工商职业技术学院

河南机电高等专科学校

深圳信息职业技术学院

河北工业职业技术学院

湖南信息职业技术学院

江西交通职业技术学院

沈阳电力高等专科学校

温州职业技术学院

温州大学

广东肇庆学院

湖南铁道职业技术学院

浙江工商职业技术学院

宁波高等专科学校

南京工业职业技术学院

浙江水利水电专科学校

成都航空职业技术学院

吉林工业职业技术学院

上海新侨职业技术学院

天津渤海职业技术学院

驻马店师范专科学校

郑州华信职业技术学院

浙江交通职业技术学院

前 言

根据教育部《关于加强高职高专教育人才培养工作的意见》精神,为满足高职高专电类相关专业教学的基本建设的需要,在教育部高教司和教育部高职教育教学指导委员会的关心和指导下,电子工业出版社广泛开展调研,召开多次高职高专电类教材研讨会,组织编写了面向 21 世纪的高职高专电类专业系列教材。

由于本套教材的整体策划,从而保证了专业基础课与专业课内容的衔接,理论教材与实验教材的配套,体现了专业的系统性和完整性。力求使教材的讲述深入浅出,将知识点与能力点紧密结合,注重培养学生的应用能力和解决现场实际问题的能力。

本书的编写力求突出高等职业教育的特点,降低理论深度,删除一些数学推导内容,注重学生实际应用能力的培养。书中带※号的内容可作为选讲内容。本书可与本套教材的《电工技能与实训》配套使用。

本书由吉林工业职业技术学院于占河担任主编,并编写了第 6,7,9 章;温州大学杨爱琴、广州大学科技贸易学院于静任副主编,杨爱琴编写了第 1,2 章,于静编写了第 3,5 章;天津渤海职业技术学院吉红编写了第 4,8 章;吉林工业职业技术学院陈刚、李士军编写了第 10 章;吉林工业职业技术学院严世成、刘宝玉编写了实验部分。安徽电子信息职业技术学院牛金生院长担任主审。

本书在编写过程中,得到了电子工业出版社、吉林工业职业技术学院、安徽电子信息职业技术学院和天津渤海职业技术学院领导及有关同志的指导、支持和帮助,在教材统稿过程中吉林工业职业技术学院张文革、吴绍华二位同志做了大量工作,编者在此一并表示感谢。

由于时间仓促、编者水平有限,书中难免有不妥之处,敬请同行们给予批评指正。

编 者
2003 年 5 月



Contents

第 1 章 电路的基本概念和基本定律	(1)
1.1 电路及其模型	(1)
1.1.1 电路	(1)
1.1.2 电路模型	(2)
1.2 电路的物理量及参考方向	(3)
1.2.1 电流及参考方向	(3)
1.2.2 电压及参考方向	(4)
1.2.3 电功率	(6)
1.3 电阻元件	(7)
1.3.1 线性电阻及欧姆定律	(7)
1.3.2 非线性电阻	(9)
1.4 独立电源	(10)
1.4.1 电压源	(10)
1.4.2 电流源	(10)
※1.5 受控源	(11)
1.6 基尔霍夫定律	(13)
1.6.1 支路、节点、回路和网孔	(13)
1.6.2 基尔霍夫电流定律(KCL)	(14)
1.6.3 基尔霍夫电压定律(KVL)	(15)
1.7 电路中电位的计算	(16)
本章小结	(17)
思考与练习题 1	(18)
第 2 章 电路的等效变换和一般分析方法	(21)
2.1 线性电阻电路的等效变换	(21)
2.1.1 二端网络	(21)
2.1.2 电阻的串联及分压公式	(22)
2.1.3 电阻的并联及分流公式	(23)
2.1.4 电阻混联电路的计算	(24)
2.1.5 电阻 Y 形电路与 Δ 形电路的等效变换	(26)
2.2 简单电路分析	(27)
2.2.1 单回路电路	(27)
2.2.2 单节点偶电路	(28)
2.3 支路电流法	(30)
2.4 节点电压法	(30)



2.5 网孔分析法	(32)
2.6 电压源与电流源模型间的等效变换	(33)
2.6.1 理想电源的串、并联	(33)
2.6.2 电压与电流源模型间的等效互换	(35)
2.6.3 含源电路的混联	(37)
2.7 叠加原理	(38)
2.8 戴维南定理	(39)
2.8.1 戴维南定理	(40)
2.8.2 最大功率传输定理	(41)
本章小结	(42)
思考与练习题 2	(43)

第 3 章 正弦稳态电路 (47)

3.1 正弦量的基本要素及表示方法	(47)
3.1.1 正弦量	(47)
3.1.2 周期和频率	(48)
3.1.3 幅值和有效值	(49)
3.1.4 相位和相位差	(49)
3.1.5 正弦量的表示方法	(51)
3.2 单一元件的正弦电路	(54)
3.2.1 纯电阻电路	(54)
3.2.2 纯电容电路	(56)
3.2.3 纯电感电路	(61)
3.3 R, L, C 串联的正弦电路	(63)
3.3.1 阻抗	(63)
3.3.2 阻抗角及电路的性质	(64)
3.4 正弦电路的功率及功率因数的提高	(67)
3.4.1 有功功率及功率因数	(67)
3.4.2 无功功率	(68)
3.4.3 视在功率	(68)
3.4.4 复功率	(69)
3.4.5 功率因数的提高	(71)
3.5 基尔霍夫定律及欧姆定律的相量形式	(73)
3.5.1 基尔霍夫定律的相量形式	(73)
3.5.2 欧姆定律的相量形式	(74)
3.5.3 复阻抗的串并联电路	(74)
本章小结	(82)
思考与练习题 3	(83)

第 4 章 谐振电路 (88)

4.1 串联电路的谐振	(88)
4.1.1 RLC 串联电路电抗的频率特性	(88)



4.1.2 串联谐振的特点	(90)
4.2 串联谐振电路的谐振曲线和选择性	(90)
4.3 并联电路的谐振	(92)
4.3.1 RLC 并联谐振电路	(92)
※4.3.2 实际线圈与电容并联的谐振电路	(93)
4.4 串并联电路的谐振	(95)
4.4.1 复阻抗的频率特性	(96)
4.4.2 谐振频率的计算	(96)
本章小结	(98)
思考与练习题 4	(98)
第 5 章 三相电路	(100)
5.1 三相电路	(100)
5.1.1 三相电源	(100)
5.1.2 三相电路	(102)
5.2 对称三相电路的计算	(105)
5.3 三相电路的功率	(106)
5.3.1 三相电路的平均功率	(106)
5.3.2 三相电路的无功功率	(107)
5.3.3 三相电路的视在功率	(107)
5.4 不对称三相电路的计算	(108)
本章小结	(112)
思考与练习题 5	(113)
第 6 章 二端口网络	(115)
6.1 二端口网络	(115)
6.1.1 二端口网络	(115)
6.1.2 二端口网络分类	(115)
6.2 二端口网络的 Y 参数方程和 Z 参数方程	(116)
6.2.1 二端口网络的 Y 参数方程	(116)
6.2.2 二端口网络的 Z 参数方程	(118)
※6.3 二端口网络的 A 参数方程和 H 参数方程	(120)
6.3.1 二端口网络的 A 参数方程	(120)
6.3.2 二端口网络的 H 参数方程	(122)
6.4 线性无源二端口网络的等效电路	(123)
6.4.1 二端口网络的 T 形等效电路	(123)
6.4.2 二端口网络的 Π 形等效电路	(124)
※6.4.3 T 形网络与 Π 形网络的等效变换	(124)
本章小结	(126)
思考与练习题 6	(126)
第 7 章 非正弦周期电路	(127)

7.1 非正弦周期函数的谐波分析	(127)
7.1.1 产生非正弦周期电压、电流的原因	(127)
7.1.2 傅里叶级数	(128)
※7.2 波形对称性与傅里叶系数的关系	(129)
7.2.1 关于原点对称的奇函数	(129)
7.2.2 关于纵轴对称的偶函数	(130)
7.2.3 奇次谐波函数	(130)
7.2.4 偶谐波函数	(131)
7.3 有效值、平均值和平均功率	(133)
7.3.1 有效值	(133)
※7.3.2 平均值	(134)
7.3.3 平均功率	(134)
7.4 非正弦周期电路的计算	(135)
本章小结	(138)
思考与练习题 7	(139)
第 8 章 电路的暂态分析	(140)
8.1 初始值的确定	(140)
8.1.1 换路定律	(140)
8.1.2 初始值的确定	(141)
8.2 RC 电路的充电和放电	(142)
8.2.1 RC 充电电路的过渡过程	(142)
8.2.2 RC 放电电路	(144)
8.2.3 RC 电路的时间常数	(146)
8.3 一阶电路暂态分析的三要素法	(148)
8.4 微分电路和积分电路	(149)
8.4.1 微分电路	(149)
8.4.2 积分电路	(150)
本章小结	(151)
思考与练习题 8	(152)
第 9 章 磁路及铁心线圈电路	(154)
9.1 磁场和磁路的基本知识	(154)
9.1.1 磁场	(154)
9.1.2 磁感应强度矢量 B	(155)
9.1.3 磁通	(155)
9.1.4 磁场强度矢量 H	(156)
9.2 铁磁性物质及其磁化	(156)
9.2.1 磁材料的磁化过程	(156)
9.2.2 磁材料的反复磁化——磁滞回线	(157)
9.2.3 基本磁化曲线	(157)
※9.2.4 磁物质的导磁系数 μ 的变化规律	(158)



9.3 磁路及基本定律	(159)
9.3.1 磁路	(159)
9.3.2 磁路欧姆定律	(159)
9.3.3 磁路基尔霍夫定律	(160)
9.3.4 直流磁路计算	(161)
9.4 交变磁通下的铁损耗	(163)
9.4.1 交流铁心线圈电路	(163)
9.4.2 交流铁心线圈损耗	(163)
9.4.3 磁屏蔽	(164)
9.5 互感电路	(164)
9.5.1 互感和互感电压	(164)
9.5.2 同名端	(166)
9.5.3 两耦合线圈的串、并联	(167)
9.6 变压器	(170)
9.6.1 变压器的基本结构	(170)
9.6.2 空载时的变压器	(172)
9.6.3 有载时的变压器	(172)
9.6.4 阻抗变换	(173)
9.6.5 变压器的损耗与效率	(173)
本章小结	(175)
思考与练习题 9	(175)
※第 10 章 微电机	(177)
10.1 单相异步电动机	(177)
10.1.1 电容式单相异步电动机	(177)
10.1.2 罩极式单相异步电动机	(178)
10.2 伺服电动机	(178)
10.2.1 杯形转子两相伺服电动机的结构	(178)
10.2.2 工作原理	(178)
10.3 测速发电机	(179)
10.4 步进电动机	(180)
10.4.1 步进电动机的结构	(180)
10.4.2 步进电动机的工作原理	(180)
10.5 自整角机	(181)
10.6 微电机的应用	(182)
10.6.1 位置控制	(182)
10.6.2 雷达天线的驱动装置	(183)
10.6.3 用做程序控制机床部件的步进电动机	(183)
10.6.4 影碟机的伺服电路	(184)
本章小结	(186)
实验一 电路元件伏安特性的测绘	(187)
实验二 基尔霍夫定律的验证	(188)



实验三 验证戴维南定理·····	(190)
实验四 日光灯电路及功率因数的提高·····	(191)
实验五 R,L,C 串联谐振电路 ·····	(194)
实验六 线性电路的过渡过程·····	(196)
部分思考与练习题答案·····	(201)
参考文献·····	(205)

第 1 章

电路的基本概念和基本定律



内容提要

电路理论是现代工程科学的重要理论基础之一,对国民经济和众多学科的发展有着重要影响。在日常生活、生产和科研中广泛地使用着各种电路,如照明电路、家用电器电路、自控系统中的控制电路等。因此,应用电子技术专业的学生学好《电路基础》课程十分重要。本章将介绍电路的基本物理量、独立电源、全电路欧姆定律、基尔霍夫定律和电位的计算。

1.1 电路及其模型

1.1.1 电路

电路是电流的通路。实际电路是为了某种需要由某些电工设备或电路元器件按一定的方式相互连接组成的整体,它们具有各种功能。电路的结构有多种形式,不同电路的作用也是各不相同的。按其完成的基本功能,电路可分为两类:一类是能够进行能量转换和传输的电路,如电力系统,如图 1.1(a)所示。该系统将发电机所发出的电能通过变压器和输电线远距离传输给用户,经不同的用户将电能转换成光能、机械能或热能等。另一类是能够实现信号的产生、传递和处理的电路,如扩音系统,如图 1.1(b)所示。话筒将语音信号转换为电信号,经放大器进行放大处理并传递给扬声器,以推动扬声器发音。

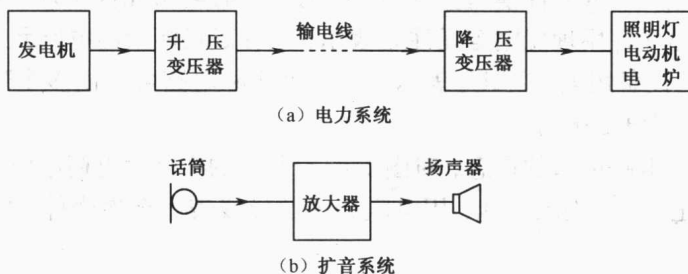


图 1.1 电路示意图

对于一个完整的电路,无论它是进行能量的转换和传输,还是实现信号的产生、传递和处理,都是由电源(或信号源)、负载和中间环节组成。

1. 电源

图 1.1(a)中的发电机是电力系统中的电源,是提供能量的设备。除发电机外,电池也是常见的电源,它们分别将机械能和化学能转换为电能。图 1.1(b)中的话筒是扩音设备中的信号源,是提供信号的。除话筒外,天线也是常见的信号源,它们分别将语音信号和无线电波转换为相应的电信号。

2. 负载

图 1.1(a)中的照明灯、电动机、电炉等都是负载,是取用电能的设备。它们分别将电能转换为光能、机械能和热能。图 1.1(b)中的扬声器也是负载,是接受和转换信号的设备。它将经过放大后的电信号还原为语音信号。

3. 中间环节

图 1.1(a)中的变压器和输电线是中间环节,是连接电源和负载的,它起传输和分配电能的作用。在图 1.1(b)中,由于话筒输出的电信号非常微弱,不足以推动扬声器发音,因此用中间环节放大器来放大电信号,它起传递和处理信号的作用。

不论电能的转换和传输,或者信号的产生、传递和处理,其中电源(或信号源)的电压或电流称为激励,它推动电路工作。由于激励的作用在电路各部分产生的电压和电流称为响应。进行电路分析,就是在已知电路结构和元件参数的条件下,讨论电路激励与响应之间的关系。

1.1.2 电路模型

应当指出,本书所讨论的电路都是指电路模型,而不是指实际电路。实际电路都是由一些按需要起不同作用的实际电路元件或器件组成,诸如电动机、变压器、电池、电容、电感、各种电阻器等。实际元器件物理过程是十分复杂的,即使是最简单的电阻器,也很难用一个简单的数学表达式来表示出其物理过程。为了简化分析,常略去元件次要的物理过程,突出其主要的物理过程,把它近似化、理想化,使之可以用一个简单的数学式来描述。这种经过简化的器件称为理想元件或元件模型。例如,消耗电能的电路元件用理想电阻元件 R 表示,储存电场能量的电路元件用理想电容元件 C 表示,储存磁场能量的电路元件用理想电感元件 L 表示,产生电能的设备用电压源 U_s 表示等。一个实际电路可以由多个理想元件的组合来模拟,这样的电路称为电路模型。

有了理想元件和电路模型的概念,对图 1.2(a)所示的实际手电筒电路,可以用电阻 R 表示灯泡,用直流电压源 U_s 表示电池,用电阻为零的导线表示金属壳体,实际手电筒的电路模型如图 1.2(b)所示。

本书所涉及的理想元件有:电阻元件、电容元件、电感元件、电压源元件、电流源元件、受控源元件和耦合电感元件等。每种元件都将有自己精确的数学形式的定义,为简便起见,今后省略理想二字,所指元件都是理想元件。

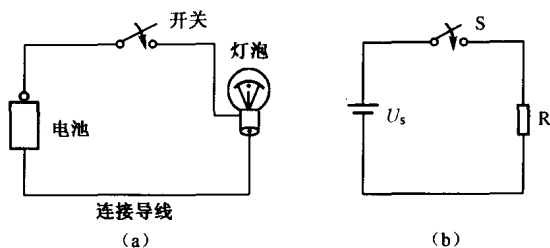


图 1.2 实际电路及其电路模型

1.2 电路的物理量及参考方向

用于描述电路性能的物理量有电流、电压、功率和能量等。

1.2.1 电流及参考方向

1. 电流的定义

电流是由电荷有规则的定向运动形成的。

把单位时间内通过导体横截面的电荷量定义为电流强度，简称电流，用符号 I 或 i 表示。

即

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

式中， dQ 为 dt 时间内通过导体横截面的电荷量。

如果电流不随时间变化，即 $\frac{dQ}{dt} = \text{常数}$ ，称为恒定电流，简称直流，用大写字母 I 表示，式(1-1)可改写为

$$I = \frac{Q}{T} \quad (1-2)$$

式中， Q 为在时间 T 内通过导体横截面的电荷量。在国际单位制中，电流的单位为 A(安培)，电荷量的单位为 C(库仑)，时间的单位为 s(秒)。

2. 电流的方向

习惯上将正电荷的运动方向规定为电流的实际方向。电流的实际方向是客观存在的。但在分析较为复杂的电路时，往往难于事先判断某条支路中电流的实际方向，对交流而言，其方向随时间而变，也无法用一个箭头标出它的实际方向。

通常，在分析电路问题时，先指定某一方向为电流方向，称为电流的参考方向，用箭头表示(图 1.3 中实线箭头)。根据电流的参考方向对电路进行计算，当电流为正值时，表示电流的实际方向(图 1.3 中虚线箭头)与参考方向一致，如图 1.3(a)所示；反之，当电流为负值时，表示电流的实际方向与参考方向相反，如图 1.3(b)所示。这样，在指定的电流参考方向下，电流值的正或负，就反映了电流的实际方向。显然，在未指定电流参考方向的情况下，电流值的正或负是没有意义的。