

高等学校教材

电工学

DIANGONGXUE

刘国林 主编



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

高等学校教材

电 工 学

刘国林 主编

人民邮电出版社

图书在版编目(CIP)数据

电工学/刘国林主编. —北京:人民邮电出版社,2005.8

高等学校教材

ISBN 7-115-13995-4

I. 电... II. 刘... III. 电工学—高等学校—教材 IV. TM1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 096628 号

内 容 提 要

本书是参照教育部高等学校电子信息科学与工程类基础课程教学指导分委员会于 2004 年 8 月制订的“电工学教学基本要求”编写的。全书共分 18 章。第 1 章直流电路、第 2 章正弦交流电路、第 3 章三相交流电路、第 4 章非正弦周期信号电路、第 5 章暂态电路、第 6 章半导体器件、第 7 章基本放大电路、第 8 章集成运算放大器、第 9 章功率放大电路、第 10 章组合逻辑电路、第 11 章时序逻辑电路、第 12 章半导体存储器、第 13 章模拟信号与数字信号的相互转换、第 14 章测试技术、第 15 章变压器、第 16 章电动机、第 17 章电气自动控制、第 18 章计算机控制技术等。各章配有深浅度适中的习题,书末有部分习题答案,帮助读者在较短时间内理解并掌握书中内容。本书采用国际通用的图形符号、名词与术语体系。

本书内容新颖、深入浅出、语言流畅、可读性强,既注重基本原理必要的讲解,又力求突出工程上的实用性。本书配备有配套的电子教案,可从人民邮电出版社网站(www.ptpress.com.cn)下载。

本书可作为高等院校非电类专业和普通高等职业或自学考试相近专业(标以“△”,“*”号除外)学生的教材,也可作为工程技术人员自学教材,亦可作为备考注册电气工程师职业资格考试的学习辅导书。

高等学校教材

电 工 学

◆ 主 编 刘国林

责任编辑 邹文波

◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号

邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn

网址 <http://www.ptpress.com.cn>

北京艺辉印刷有限公司印刷

新华书店总店北京发行所经销

◆ 开本:787×1092 1/16

印张:25.5

字数:612 千字

2005 年 8 月第 1 版

印数:1—3 000 册

2005 年 8 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-115-13995-4/TN · 2602

定价:31.00 元

读者服务热线:(010)67170985 印装质量热线:(010)67129223

前 言

电工学是高等学校非电类的一门实践性较强的技术基础课程。它使非电类专业的学生不仅具有电工技术和电子技术的基础知识,而且能了解供配电以及电气工程的设计、施工和管理等方面的知识,以便为后续课程的学习打下基础。

按国际电工技术委员会(IEC)的要求,电气首先应以人为本,保证人身安全,同时也要保证电气设备的安全以及功能的正常发挥。但由于历史的原因,从新中国开始,无论在电气的实际工作中或学校的教材中对防人身电击和电气火灾重视不够,造成与IEC标准接轨的困难。也由于历史的原因,我国未能及时采用IEC发布的标准。这也在一定程度上增加了我国电气与IEC标准接轨的难度¹。国内电工学或电工电子教学,仍然用第3代教材培养第6代工程师²。淘汰的技术还在沿用,如三相四线制中零(N)线接熔断器、电气控制回路³采用380V等。为了使读者学以致用,本书力求将IEC有关规范和标准有机地贯穿到相应章节之中,介绍现行工程中所采用的技术、工艺、器件和设备等。

本书主要特色如下。

1. 精选内容。讲清电工学的基本概念、基本理论、基本分析和计算方法,在阐明物理概念和基本定律的前提下,采用工程近似方法进行计算,略去一些不必要的数学推导,以有限的篇幅覆盖较大的知识面。

2. 推陈出新。本书所讲述的内容,大多数都是近几年现行工程中所采用的新技术、新工艺和新材料。

3. 培养学生的实践能力。书中精选最基本的、有较高实用价值的实际应用电路,读者能从这些应用电路实例中举一反三,学会分析电路的技巧和查阅电工电子手册,培养读者实际工作的能力。

4. 教学生动形象。为了增强课堂效果的直观性,帮助学生理解、消化理论知识,提高学习兴趣,充分发挥想象力,本书配置电子教案,使学生更容易学习和理解课程的内容,授课教师备课轻松。教师也可在所配电子教案的基础上根据需要进行修改,以制作出有自己特色的课件。本书同时向授课教师提供该教材学习指导和习题解答。

本书理论教学64学时(电工技术和电子技术各32学时),实验教学24学时。由于各专业对电工学的要求不一,学时的差异,为了使教材具有灵活性,将本教材内容分为以下三类。

(1) 基本内容:为教学基本要求所规定的内容。基本教学计划为32学时。

(2) 非共同性基本内容(标以“△”号):如非线性电阻电路、供配电及用电安全、非电量测试、计算机控制技术等章节,仅对部分专业讲授。

(3) 参考内容(标以“*”号):一般指加深加宽内容,供学有余力的学生阅读,如非正弦周期信号电路、暂态电路、半导体存储器和模拟信号和数字信号的相互转换等,可在教

1. 中国航空工业规划设计研究院教授级高级工程师、IEC/TC64中国归口委员会顾问王厚余:中国电气,2004.8

2. 全国第九、十届政协委员、上海交通大学教授刘西拉:第3代旧教材怎能培养第6代工程师?华夏时报,2005-03-07

3. 《通用用电设备配电设计规范》GB50055-1993

师指导下让学生通过自学掌握,不必全在课堂讲授。

实验时数为 24 学时。最好按课程的进度,每章做一些实验。通过实验,使学生学会使用测试仪器仪表,掌握测量方法,加深理解课堂所学的内容,提高学生实际操作的基本技能。

本书由刘国林任主编,蒋中、陈杰、姬敬、江庆和杨政任副主编,参加本书编撰的还有刘红宇、洪源、陈乐平、宋长源、李双喜、吴扬、潘亚林、汪瑞玲、张红梅和吴沛然等。东华工程科技股份有限公司(原化工部第三设计院)教授级高级工程师唐海洋修改了本书大部分内容。中国航空工业规划设计研究院教授级高级工程师、IEC/TC64 中国归口委员会顾问王厚余和东华工程科技股份有限公司(原化工部第三设计院)教授级高级工程师周同详细修改了本书第 3 章 3.4 节和第 15、16、17 章。参加文字录入和部分绘图的有刘国新、汪运、汪毅、许先芝和王玉梅等。

北京林业大学韩宁教授审阅了本书部分内容,提出了很多宝贵的意见,在此,对所有帮助过我们的同志一并表示衷心的感谢。

本书引用了《电世界》、《建筑电气》等期刊的资料,以及同行们的部分科研成果。除在参考文献中列出外,在此仅向这些书刊资料的作者和科研成果的同行们致以深深的谢意。

由于作者水平有限,书中错误和不妥之处在所难免,殷切期望广大师生和读者给予批评指正。

刘国林¹

2005 年 7 月

1. 主编联系地址:合肥市阜南西路 238 号 404 室 邮编:230061

电话:(0551) 5100340, 1335569905, 13505602118

电子信箱:liu @ mail. hf. ah. cn, liu5100340@126. com

目 录

第 1 章 直流电路	1
1.1 电路的基本概念	1
1.1.1 电路的组成及作用	1
1.1.2 电路的基本物理量	2
1.2 电路的基本状态	4
1.2.1 有载状态	4
1.2.2 开路状态	6
1.2.3 短路状态	7
1.3 电源及其等效变换	8
1.3.1 电压源	8
1.3.2 电流源	9
1.3.3 实际电源模型及其等效变换.....	10
1.4 基尔霍夫定律.....	13
1.4.1 基尔霍夫电流定律 (KCL)	13
1.4.2 基尔霍夫电压定律 (KVL)	14
1.5 支路电流法.....	17
1.6 叠加定理.....	18
1.7 戴维南定理.....	22
1.8 非线性电阻电路.....	23
1.8.1 非线性电阻电路的图解分析法.....	24
1.8.2 非线性电阻元件的电阻.....	24
1.9 电路中的电位.....	25
1.10 技能实训	27
1.10.1 电路中电位的测量	27
1.10.2 基尔霍夫定律的实训	30
1.10.3 戴维南定理和诺顿定理的实训	32
习题	35
第 2 章 正弦交流电路	42
2.1 正弦交流电的基本概念.....	42
2.1.1 正弦量的特征量.....	43
2.1.2 正弦量的有效值.....	43
2.1.3 正弦量的相位差.....	45

2.2	正弦量的相量表示法	47
2.3	电阻、电感和电容的正弦交流电路	49
2.3.1	电阻电路	49
2.3.2	电感元件	51
2.3.3	电容元件	53
2.4	RLC 串联交流电路	56
2.4.1	RLC 串联交流电路中电流和电压的关系	57
2.4.2	RLC 串联交流电路中的功率	58
2.5	阻抗的串联与并联	60
2.5.1	阻抗的串联	60
2.5.2	阻抗的并联	61
2.6	电路谐振	63
2.6.1	串联谐振	63
2.6.2	并联谐振	65
2.7	功率因数的提高	66
2.8	技能实训——日光灯电路及功率因数的改进	69
2.8.1	实训目的	69
2.8.2	实训原理与电路	69
2.8.3	实训设备与仪器	71
2.8.4	实训步骤	71
2.8.5	实训报告要求	71
	习题	72
第 3 章	三相交流电路	75
3.1	三相电源	75
3.2	三相负载	77
3.2.1	三相负载的星形连接	78
3.2.2	三相负载的三角形连接	81
3.3	三相功率	82
3.4	供配电及用电安全	84
3.4.1	电力系统概述	84
3.4.2	低压配电系统接地	86
3.4.3	安全用电	90
3.5	技能实训——三相交流电路的负载连接及功率测量	92
3.5.1	实训目的	92
3.5.2	实训原理与电路	92
3.5.3	实训设备与仪器	93
3.5.4	实训步骤	94
3.5.5	实训报告要求	94

习题	94
* 第 4 章 非正弦周期信号电路	97
4.1 谐波分析的概念	97
4.2 非正弦周期量的最大值、平均值和有效值	97
4.3 非正弦周期信号线性电路计算	98
习题	100
* 第 5 章 暂态电路	102
5.1 换路定律	102
5.1.1 过渡过程的产生	102
5.1.2 换路定律	102
5.2 RC 电路的暂态分析	104
5.3 RL 电路的暂态分析	106
习题	108
第 6 章 半导体器件	110
6.1 半导体的导电特性	110
6.1.1 本征半导体	110
6.1.2 杂质半导体	111
6.1.3 PN 结的形成及特性	112
6.2 半导体二极管	113
6.2.1 普通二极管	113
6.2.2 稳压管	115
6.3 半导体三极管	117
6.3.1 基本结构	117
6.3.2 电流分配和放大原理	118
6.3.3 特性曲线	120
6.3.4 主要参数	122
[△] 6.4 光电器件	124
6.4.1 发光二极管	124
6.4.2 光电耦合器	124
6.5 ¹ 技能实训——二极管和晶体管测试	126
6.5.1 用万用表测试二极管和晶体管	126
[△] 6.5.2 晶体管特性图示仪	127
习题	128
第 7 章 基本放大电路	130
7.1 共发射极放大电路	130

7.1.1	共发射极放大电路的基本结构	130
7.1.2	共发射极放大电路的分析	131
7.1.3	静态工作点的稳定	138
7.2	共集电极放大电路	140
7.2.1	电路结构	140
7.2.2	静态分析	140
7.2.3	动态分析	141
7.3	场效应晶体管基本放大器	142
7.3.1	场效应晶体管基本结构和工作原理	143
7.3.2	特性曲线和主要参数	144
7.3.3	简化的小信号模型	145
7.3.4	共源极放大电路	146
7.4	多级放大电路	148
7.5	差分放大电路	149
7.5.1	工作原理	150
7.5.2	输入和输出方式	151
7.6	技能实训——基本放大电路	153
7.6.1	实验目的	153
7.6.2	实验内容	153
7.6.3	问题讨论	155
习题		155
第8章	集成运算放大器	159
8.1	集成运算放大器的简单介绍	159
8.1.1	集成运算放大器的组成	159
8.1.2	集成运算放大器的主要技术参数	160
8.1.3	集成运算放大器及其分析	162
8.2	放大电路中的反馈	163
8.2.1	反馈的基本概念	163
8.2.2	反馈的判断	164
8.2.3	负反馈对放大电路性能的改善	165
8.3	基本运算电路	167
8.3.1	比例运算	167
8.3.2	加法运算	169
△8.3.3	减法运算	170
8.3.4	积分运算	171
△8.3.5	微分运算	172
8.4	电压比较器	173
8.5	RC 正弦波振荡电路	174

8.5.1 自激振荡	174
8.5.2 RC 正弦波振荡电路	175
* 8.6 有源滤波器	176
8.6.1 有源低通滤波器	176
8.6.2 有源高通滤波器	177
8.7 技能实训——集成运算放大电路	178
8.7.1 实训目的	178
8.7.2 实训内容	179
8.7.3 使用集成运算放大器应注意的几个问题	180
8.7.4 问题讨论	180
习题	180
第9章 功率放大电路	184
9.1 低频功率放大电路	184
9.1.1 低频功率放大电路概述	184
9.1.2 乙类放大互补对称放大电路	185
9.1.3 甲乙类放大互补对称电路	186
9.1.4 集成功率放大器	186
9.2 直流稳压电源	187
9.2.1 整流电路	187
9.2.2 滤波器	189
9.2.3 直流稳压电源	191
* 9.2.4 开关稳压电路	194
* 9.3 晶闸管和可控整流电路	196
9.3.1 晶闸管	196
9.3.2 双向晶闸管	198
9.3.3 可关断晶闸管	198
9.3.4 可控整流电路	198
* 9.4 绝缘门极双极型晶体管	200
9.5 技能实训——直流稳压电源	201
9.5.1 实训目的	201
9.5.2 实训原理	201
9.5.3 实训内容	202
9.5.4 实训仪器	204
9.5.5 实训报告要求	204
9.5.6 注意事项	204
习题	204
第10章 组合逻辑电路	207
10.1 门电路	207

10.1.1 基本门电路	207
10.1.2 复合门电路	210
10.2 组合逻辑电路的分析	213
10.2.1 逻辑代数及其运算法则	213
10.2.2 组合逻辑电路的分析	214
10.3 加法器	216
10.3.1 数制	216
10.3.2 半加器	217
10.3.3 全加器	218
10.4 编码器	219
10.4.1 编码	219
10.4.2 二—十进制编码器	220
* 10.4.3 优先编码器	221
10.5 译码器和数字显示	222
10.5.1 二进制译码器	222
10.5.2 二—十进制显示译码器	224
10.6 技能实训	226
10.6.1 门电路逻辑功能及其应用	226
10.6.2 编码、译码与显示	229
习题	231

第 11 章 时序逻辑电路 234

11.1 双稳态触发器	234
11.1.1 RS 触发器	234
11.1.2 JK 触发器	237
11.1.3 D 触发器	238
11.2 寄存器	240
11.2.1 数码寄存器	240
11.2.2 移位寄存器	241
11.3 计数器	242
11.3.1 二进制计数器	242
11.3.2 十进制计数器	244
[△] 11.4 集成定时器及其应用	247
11.4.1 555 定时器	247
11.4.2 单稳态触发器	248
11.4.3 多谐振荡器	249
11.5 技能实训——时序逻辑电路	250
11.5.1 实训目的	250
11.5.2 实训内容	250

11.5.3 问题讨论	252
习题	252
* 第 12 章 半导体存储器	256
12.1 只读存储器	256
12.2 随机存取存储器	257
12.2.1 基本存储单元	257
12.2.2 RAM 的基本结构	258
习题	259
* 第 13 章 模拟信号与数字信号的相互转换	260
13.1 数模转换器	260
13.1.1 电阻网络 D/A 转换器	260
13.1.2 D/A 转换器的主要技术指标	261
13.2 模数转换电路	262
13.2.1 逐次逼近型 A/D 转换器	262
13.2.2 双积分型 A/D 转换器	264
13.2.3 A/D 转换器的主要技术指标	265
习题	266
第 14 章 测试技术	267
14.1 测量误差的基本概念	267
14.1.1 测量误差	267
14.1.2 测量仪表的准确度	267
14.2 电量测量	268
14.2.1 常用电工测量仪表的分类	268
14.2.2 电流、电压和功率的测量	269
14.2.3 电阻测量	271
[△] 14.3 非电量测试	272
14.3.1 非电量测试系统的组成	273
14.3.2 传感器	273
14.3.3 信号处理电路	276
14.3.4 信号的输出	279
14.3.5 检测仪表的检定	279
习题	279
第 15 章 变压器	282
[△] 15.1 磁路	282
15.1.1 磁路的基本物理量	282

15.1.2	磁性材料的磁性能	283
15.1.3	磁路的分析方法	285
△15.2	电磁铁	287
15.2.1	交流铁心线圈电路	287
15.2.2	电磁吸力	289
15.2.3	电磁铁的结构特点	289
15.3	变压器	290
15.3.1	变压器的基本结构	291
15.3.2	变压器的工作原理	291
15.3.3	变压器的特性和额定值	295
△15.4	特殊变压器	298
15.4.1	自耦变压器	298
15.4.2	仪表用互感器	298
15.5	技能实训——单相变压器特性检测	300
15.5.1	实训目的	300
15.5.2	实训原理与电路	300
15.5.3	实训所设备与仪器	301
15.5.4	实训步骤	301
15.5.5	实训报告要求	302
15.5.6	实训注意事项	303
习题		303
第 16 章 电动机		305
16.1	三相异步电动机工作原理	305
16.1.1	三相异步电动机的结构	305
16.1.2	三相异步电动机的工作原理	307
16.1.3	三相异步电动机的电路分析	309
16.1.4	三相异步电动机的电磁转矩和机械特性	311
16.1.5	三相异步电动机的铭牌和技术数据	313
16.2	异步电动机的启动	315
16.2.1	鼠笼式三相异步电动机的启动	316
16.2.2	绕线转子电路串联电阻启动	318
16.3	异步电动机的调速	319
16.3.1	改变磁极对数调速	319
16.3.2	改变转差率调速	319
16.3.3	改变电源频率调速	320
16.4	单相异步电动机	324
16.4.1	电容分相式异步电动机	324
16.4.2	罩极式单相异步电动机	325

* 16.5 直流电动机·····	326
* 16.6 步进电动机·····	327
* 16.7 电动机的选择·····	329
习题·····	330
第 17 章 电气自动控制 ·····	332
17.1 常用低压电器·····	332
17.1.1 熔断器·····	332
17.1.2 开关·····	333
17.1.3 断路器·····	335
17.1.4 按钮·····	337
17.1.5 交流接触器·····	337
* 17.1.6 中间继电器·····	339
17.1.7 热继电器·····	340
17.1.8 电动机综合保护器·····	341
17.2 电气自动控制线路·····	341
17.2.1 笼型电动机直接启动的控制线路·····	341
17.2.2 笼型电动机正反转的控制线路·····	344
17.2.3 顺序控制电路·····	344
17.2.4 行程控制电路·····	345
17.2.5 时间控制·····	346
17.2.6 两地控制·····	347
17.2.7 低压交流控制回路应注意的问题·····	348
17.3 可编程控制器·····	348
17.3.1 可编程序控制器概述·····	349
17.3.2 可编程序控制器的工作原理·····	350
17.4 技能实训——笼型三相异步电动机的点动、启停控制电路·····	352
17.4.1 实训目的·····	352
17.4.2 实训设备、工具和器材·····	353
17.4.3 实训内容·····	353
17.4.4 注意事项·····	354
17.4.5 分析与思考 ·····	354
习题·····	354
^A 第 18 章 计算机控制技术 ·····	357
18.1 数据通信基础·····	357
18.1.1 数据编码·····	357
18.1.2 数据传输·····	357
18.1.3 数据通信·····	358

18.1.4 数据的发送与接收·····	358
18.1.5 通信接口·····	359
18.2 计算机网络·····	359
18.2.1 概述·····	359
18.2.2 计算机网络硬件·····	361
18.2.3 计算机网络软件·····	365
18.2.4 通信网络协议·····	366
18.2.5 局域网·····	368
18.3 现场总线系统·····	369
18.3.1 现场总线系统形成过程·····	369
18.3.2 分散控制系统·····	370
18.3.3 现场总线系统·····	372
18.4 MODBUS 协议·····	374
18.4.1 传输方式·····	374
18.4.2 RTU 帧结构·····	375
18.4.3 循环冗余位校验·····	375
18.5 技能实训——EDA 基本原理和仿真认识·····	375
18.5.1 实训目的·····	375
18.5.2 电路仿真软件 EWB 简介·····	375
18.5.3 实训内容·····	376
18.5.4 问题讨论·····	377
习题·····	377
附录 A 电阻器、电容器的标称系列值·····	378
附录 B 部分 Y 系列三相异步电动机的参数·····	379
附录 C 半导体分立器件型号命名方法 (国家标准 GB249-1989)·····	380
附录 D 半导体集成器件型号命名方法 (国家标准 GB3430-1989)·····	381
附录 E 部分集成运算放大器主要技术指标·····	382
附录 F 部分数字集成电路引脚排列图·····	383
部分习题答案·····	385
主要参考文献·····	392

第1章 直流电路

本章主要介绍电路模型、电路的基本物理量和基本元件，引进电流、电压的参考方向以及电路中电位的基本概念。应用欧姆定律、基尔霍夫定律等电路的基本定律对直流电路进行分析计算。最后介绍非线性电阻元件的伏安特性及静态电阻、动态电阻的概念，以及简单非线性电阻电路的图解分析法。这些方法只要稍加扩展，原则上也适用于交流电路及其他各种线性电路的分析和计算，同时也是分析电子电路的基础。

1.1 电路的基本概念

1.1.1 电路的组成及作用

1. 电路模型

电路，简单地说就是电流流通的路径。它是由某些电气设备和元器件为实现能量的输送和转换，或实现信号的传递和处理而按一定方式组合起来的总体。图 1.1.1 (a) 所示的手电筒电路是由干电池、灯泡、导线和开关等组成的。

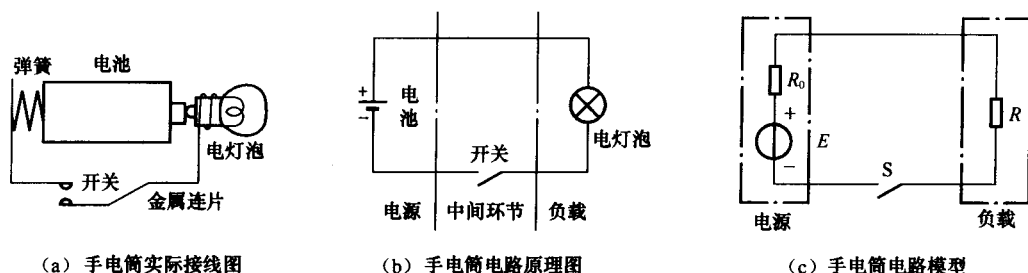


图 1.1.1 手电筒电路

电源（如干电池等）是将非电能转换为电能的设备；负载（如电灯泡等）是将电能转换成非电能的设备和元件；开关接通或断开电路，起控制电路的作用；导线把电源与负载连接起来。一个完整的电路是由电源（或信号源）、负载和中间环节（开关、导线等）3 个基本部分组成的，缺一不可。

在实际应用中，通常用电路图来表示电路。在电路图中，各种电器元件都不需要画出原有的形状，而是采用统一规定的图形符号来表示。图 1.1.1 (b) 就是图 1.1.1 (a) 所示的手电筒电路原理图。用理想元件构成的电路常称为实际电路的“电路模型”，如图 1.1.1 (c) 所示。在进行理论分析时所指的电路，就是这种电路模型。在电路中，随着电流的流动，进行着不同形式能量之间的转换。

2. 电路的作用

电路按其功能可分为两类：一类是电力电路，它主要起实现电能的传输和转换作用，因此，在传输和转换过程中，要求尽量减少能量损耗以提高效率；另一类是信号电路，其主要作用是传输和处理信号等（例如，语言、图像和温度等），在这种电路中，一般所关心的是信号传递和处理的质量，要求不失真、速度快等。

1.1.2 电路的基本物理量

线性电路的基本物理量有电流、电压和电动势，复合物理量有电功率和电能等。

1. 电流

电流是由带电粒子（电荷）定向运动形成的，规定正电荷运动的方向为电流方向。电流的大小用电流强弱来衡量。电流强度是指单位时间内通过导体横截面的电荷量。电流强度习惯上称为电流。一般情况下，电流是随时间变化的，即是时间函数，用符号 $i(t)$ 表示。若在 dt 时间内通过任意导体截面的电荷 [量] 是 dq ，则通过该导体的电流 $i(t)$ 为

$$i(t) = dq/dt \quad (1.1.1)$$

或者说，电流是运动电荷对时间的变化率。

若电流不随时间变化，即任意瞬时电流的大小和方向都相同，这种电流称为恒定电流，简称直流，用大写字母 I 表示。设在 t 秒内通过任意导体截面的电量是 Q ，式 (1.1.1) 可写为

$$i(t) = I = Q/t \quad (1.1.2)$$

式中，电量 Q 的单位是库仑 (C)；时间 t 的单位是秒 (s)；电流 I 的单位是安培 (A)。

安培 (A) 简称为安 (A)，是国际单位制 (SI) 中的基本单位之一。若电流较小，也可用毫安 (mA) 或微安 (μA) 作单位，它们之间的关系是

$$1A = 10^3 mA$$

$$1mA = 10^3 \mu A$$

在电路分析中，一段电路电流的实际方向很难预先判断，尤其是交变电流的实际方向不断地变化，难于在电路中标明电流的实际方向，因此引入了电流参考方向的概念。

任意选定某一方向作为电流的参考方向，也就是计算正值方向（简称为正方向）。当计算出的电流为正值 ($i > 0$) 时，表示实际方向与任意选定的方向相同。反之，若计算出的电流为负值 ($i < 0$) 时，表示实际方向与任意选定的方向相反。这样，在指定电流参考方向的前提下，电流被视为代数量，电流数值的正和负，则反映了电流的实际方向。在电路中，电流的参考方向用箭头表示，如图 1.1.2 所示，也可用双下标表示，如 i_{AB} ，表示参考方向由 A 指向 B。图 1.1.2 中的框图表示任意的电路元件。

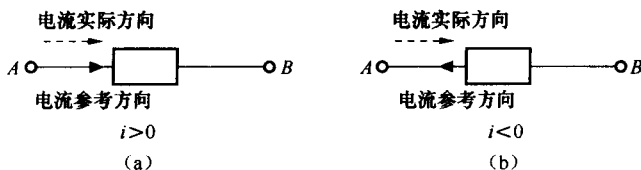


图 1.1.2 电流的参考方向与实际方向的关系

2. 电压

当电荷在电路中运动时，电场力将对这些电荷做功，为了表征电场力做功的能力，引入