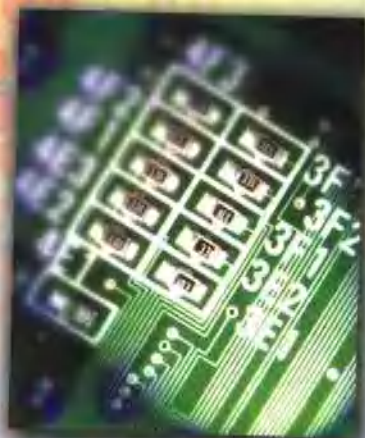


高等学校“十一五”精品规划教材

● 立体化教材 ●

电路基础

曾令琴 主编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

TM13/191

2007



高等学校“十一五”精品规划教材

电路基础

曾令琴 主编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书是根据“应用型”、“技能型”人才培养目标的要求编写的。分为理论内容和实践教学内容两大类。理论内容主要有：电路的基本概念和基本定律、电路原理及基本分析方法、单相正弦交流电路、相量分析法、谐振电路、互感耦合电路与变压器、三相电路、电路的暂态分析、非正弦周期电流电路、二端口网络、均匀传输线和拉普拉斯变换。实践教学内容包括与理论内容相关的实验指导，还有注重学生素质培养、应用型人才能力培养的电工实训项目，真正把立足点放到工程技术应用性上，做到既为学生后续课程服务，又能直接服务于工程技术应用能力的培养，具有很强的实践性。

为便于教学和学习，教材配套提供教学大纲和实际操作性能较高的教学课件、试题库和详细的习题解析等。本书可作为高校电类各专业教材，也可供有关科技人员学习参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

电路基础/曾令琴主编. —北京: 中国水利水电出版社,
2007

高等学校“十一五”精品规划教材

ISBN 978-7-5084-5069-8

I. 电… II. 曾… 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 (2007) 第 166978 号

书 名	高等学校“十一五”精品规划教材 电路基础
作 者	曾令琴 主编
出版 发行	中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心 (零售) 电话: (010) 88383991、63202613 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市地矿印刷厂
规 格	787mm×1092mm 16 开本 15.5 印张 368 千字
版 次	2007 年 12 月第 1 版 2007 年 12 月第 1 次印刷
印 数	0001—5000 册
定 价	25.00 元

凡购买我社图书，如有缺页、倒页、脱页的，本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

前言

《电路基础》是大学本科、专科、高职等电类各专业的重要技术基础课程，课程理论严密、逻辑性强，有广阔的工程背景，是电类学生知识结构的重要组成部分。学习本课程对培养学生的科学思维能力，树立理论联系实际的工程观点和提高学生分析问题和解决问题的能力以及在人才培养中都起着十分重要的作用。

许多重要的电路理论知识都是在《电路基础》课程中逐步建立的，课程中的基本定理、定律在应用中的地位十分重要，正确掌握并灵活应用它们，能大大提高我们分析问题和解决问题的能力。《电路基础》课程的任务，就是要使学生掌握电类技术人员必须具备的电路基础理论、基本分析方法，掌握各种常用电工仪器、仪表的使用和简单的电工测量方法，为后续专业课的学习和今后踏入社会后的工程实际应用奠定基础。

本教材编写内容的制定，是根据“应用型”、“技能型”人才培养目标的要求，避开高深的理论推导和元器件内部电路的过细研究，注重与实际紧密相关的电路整体特性及元器件外部特性，加入了实验教学指导和实训教学项目，真正把立足点放到工程实际应用上，做到既为学生后续课程服务，又能直接服务于工程技术应用能力的培养，具有很强的实践性。由于课程内容的广泛性与复杂性，我们采用了科学、合理的方法归类合并，按照单元进行模块化，各个教学模块注意了突出主线，突出重点，不同专业可以根据专业需求灵活选择教学模块组织教学活动。

本教材共分 12 章，第 1 章和第 2 章是课程的理论基础，建议课时为 24 学时；第 3 章、第 4 章建议为 16 学时；第 5 章建议 8 学时；第 6 章建议 10 学时；第 7 章建议 8 学时；第 8 章建议 10 学时；第 9 章建议 8 学时；第 10 章建议 8 学时；第 11 章建议 6 课时；第 12 章建议为 8 课时（以上课时均包括实验环节的课时）。如果实验课可以单独设课，则建议全课程理论总学时不低于 86 学时。根据各专业课课时制定的不同选择适合于本专业的教学模块组合，需保证各章基本学时的要求，即实际教学课时不低于各模块的建议学时

数，以保证教学质量。总实验、实训学时数建议不低于 86 学时，保证学生的技能和工程应用能力的培养。

本教材由曾令琴担任主编，并编写了第 1 章、第 2 章、第 8 章、第 9 章、第 10 章；李伟编写了第 5 章、第 6 章、第 11 章；徐力平编写了第 3 章、第 4 章、第 7 章、第 12 章。曾令琴负责完成了本教材对应教学大纲的编写，并负责制作了与教材相配套的实用性很高的教学课件，编写了试题库，为选择本教材的教师提供了配套的助教系统。本教材中加 * 的内容表示该部分不属于必讲内容。

由于作者水平有限，教材和课件中难免存在错漏和不足之处，敬请广大读者给予批评指正。作者 E-mail: zlingqin@163.com。

作 者

2007 年 8 月

目 录

前言

第 1 章 电路的基本概念和基本定律	1
1.1 电路和电路模型	1
1.1.1 电路的组成及功能	1
1.1.2 电路模型	2
1.2 电路的基本物理量	4
1.2.1 电流	4
1.2.2 电压、电位和电动势	5
1.2.3 电功和电功率	6
1.2.4 参考方向	7
1.3 基尔霍夫定律	8
1.3.1 几个常用的电路名词	9
1.3.2 节点电流定律 (KCL)	9
1.3.3 回路电压定律 (KVL)	10
1.4 电压源和电流源	11
1.4.1 理想电压源	12
1.4.2 理想电流源	12
1.4.3 实际电源的两种电路模型	12
1.5 电路的等效变换	13
1.5.1 电阻之间的等效变换	14
1.5.2 电源之间的等效变换	16
1.6 直流电路中的几个问题	17
1.6.1 电路中各点电位的计算	17
1.6.2 电桥电路及电桥的平衡条件	18
1.6.3 负载获得最大功率的条件	19
1.6.4 受控源	20
小结	21

习题	22
实训 - 电路测量预备知识及技能的训练	25
实验 - 基尔霍夫定律的验证	32
第 2 章 电路的基本分析方法	34
2.1 支路电流法	34
2.2 回路电流法	36
2.3 节点电压法	38
2.3.1 节点电压法	38
2.3.2 弥尔曼定理	40
2.4 叠加定理	41
2.5 戴维南定理	43
小结	45
习题	45
实验二 叠加定理和戴维南定理的验证	47
第 3 章 单相正弦交流电路	50
3.1 正弦交流电路的基本概念	50
3.1.1 正弦量的三要素	50
3.1.2 相位差	53
3.2 单一参数的正弦交流电路	54
3.2.1 电阻元件	54
3.2.2 电感元件	56
3.2.3 电容元件	59
小结	62
习题	63
实验三 三表法测量电路参数	64
第 4 章 相量分析法	67
4.1 复数及其运算	67
4.1.1 复数及其表示方法	67
4.1.2 复数运算法则	68
4.2 相量和复阻抗	69
4.2.1 相量	69
4.2.2 复阻抗	69
4.3 相量分析法	70
4.3.1 RLC 串联电路的相量模型分析	70
4.3.2 RLC 并联电路的相量模型分析	72
4.3.3 应用实例	73
4.4 复功率	78

1.4.1 正弦交流电路中的功率	78
1.4.2 复功率	80
1.4.3 功率因数的提高	81
小结	83
习题	84
实验四 日光灯电路的连接及功率因数的提高	87
第5章 谐振电路	91
5.1 串联谐振	91
5.1.1 RLC 串联电路的基本关系	91
5.1.2 串联谐振的条件	91
5.1.3 串联谐振电路的基本特性	92
5.1.4 串联谐振回路的能量特性	93
5.1.5 串联谐振电路的频率特性	94
5.2 并联谐振	96
5.2.1 并联谐振电路的谐振条件	97
5.2.2 并联谐振电路的基本特性	97
5.2.3 并联电路的频率特性	98
5.2.4 并联谐振电路的一般分析方法	99
5.2.5 电源内阻对并联谐振电路的影响	99
5.3 正弦交流电路的最大功率传输	101
5.4 谐振电路的应用	102
小结	103
习题	104
实验五 串联谐振的研究	104
第6章 互感耦合电路与变压器	107
6.1 互感的概念	107
6.1.1 互感现象	107
6.1.2 互感电压	107
6.1.3 耦合系数和同名端	108
6.2 互感电路的分析方法	109
6.2.1 互感线圈的串联	109
6.2.2 互感线圈的并联	110
6.2.3 互感线圈的 T 形等效	111
6.3 空芯变压器	112
6.4 理想变压器	113
6.4.1 理想变压器的条件	114
6.4.2 理想变压器的主要性能	114

6.5 全耦合变压器	115
6.5.1 全耦合变压器的定义	115
6.5.2 全耦合变压器的等效电路	116
6.5.3 全耦合变压器的变换系数	116
小结	117
习题	118
实验六 变压器参数测定及绕组极性判别	119
第7章 三相电路	123
7.1 三相交流电的基本概念	123
7.2 三相电源的连接	125
7.2.1 三相电源的Y接	125
7.2.2 三相电源的 Δ 接	126
7.3 三相负载的连接	127
7.3.1 三相负载的Y接	127
7.3.2 三相负载的 Δ 接	132
7.4 三相电路的功率	134
小结	136
习题	136
实验七 三相电路电压、电流的测量	137
第8章 电路的暂态分析	141
8.1 换路定律	141
8.1.1 基本概念	141
8.1.2 换路定律	142
8.2 一阶电路的暂态分析	144
8.2.1 一阶电路的零输入响应	144
8.2.2 一阶电路的零状态响应	147
8.2.3 一阶电路的全响应	148
8.2.4 一阶电路暂态分析的三要素法	150
8.3 一阶电路的阶跃响应	151
8.3.1 单位阶跃函数	151
8.3.2 单位阶跃响应	152
8.4 二阶电路的零输入响应	154
小结	156
习题	156
实验八 一阶电路的响应测试	159
第9章 非正弦周期电流电路	162
9.1 非正弦周期信号	162

9.1.1	非正弦周期信号的产生	162
9.1.2	非正弦周期信号	163
9.2	谐波分析和频谱	164
9.2.1	非正弦周期信号的傅里叶级数表达式	164
9.2.2	非正弦周期信号的频谱	165
9.2.3	波形的对称性与谐波成分的关系	166
9.2.4	波形的平滑性与谐波成分的关系	166
9.3	非正弦周期信号的有效值、平均值和平均功率	167
9.3.1	非正弦周期量的有效值和平均值	168
9.3.2	非正弦周期量的平均功率	168
9.4	非正弦周期信号作用下的线性电路分析	169
	小结	172
	习题	173
	实验九 非正弦周期电流电路研究	174
第 10 章	二端口网络	177
10.1	二端口网络的一般概念	177
10.2	二端口网络的基本方程和参数	178
10.2.1	阻抗方程和 Z 参数	178
10.2.2	导纳方程和 Y 参数	180
10.2.3	传输方程和 A 参数	181
10.2.4	混合方程和 H 参数	182
10.2.5	二端口网络参数之间的关系	182
10.2.6	实验参数	183
10.3	二端口网络的输入阻抗、输出阻抗和传输函数	184
10.3.1	输入阻抗和输出阻抗	184
10.3.2	传输函数	185
10.4	线性二端口网络的等效电路	186
10.4.1	无源线性二端口网络的 T 形等效电路	187
10.4.2	无源线性二端口网络的 Π 形等效电路	187
10.4.3	T 形网络和 Π 形网络的等效变换	188
10.4.4	多个简单二端口网络的连接	188
10.5	二端口网络的特性阻抗和传输常数	190
10.5.1	二端口网络的特性阻抗	190
10.5.2	二端口网络的传输常数	191
10.6	二端口网络的应用简介	191
10.6.1	相移器	191
10.6.2	衰减器	192
10.6.3	滤波器	192

小结	193
习题	194
实验十 线性无源二端口网络的研究	195
第 11 章 均匀传输线	199
11.1 分布参数电路的概念	199
11.1.1 分布参数电路	199
11.1.2 分布参数电路的分析方法	199
11.2 均匀传输线的正弦稳态响应方程式	200
11.2.1 均匀传输线的微分方程	200
11.2.2 均匀传输线方程的稳态解	201
11.3 均匀传输线上的波和传播特性	202
11.3.1 行波	202
11.3.2 特性阻抗	202
11.3.3 传播常数	203
11.4 终端接有负载的传输线	204
11.4.1 反射系数	204
11.4.2 终端阻抗匹配的均匀传输线	205
11.4.3 终端不匹配的均匀传输线	205
小结	206
习题	207
第 12 章 拉普拉斯变换	208
12.1 拉普拉斯变换的定义	208
12.2 拉普拉斯变换的基本性质	209
12.3 拉普拉斯反变换	211
12.4 应用拉氏变换分析线性电路	214
12.4.1 单一参数的运算电路	215
12.4.2 耦合电感的运算电路	216
12.4.3 应用拉氏变换分析线性电路	217
小结	221
习题	222
实训二 常用元器件的识别、测试及焊接技术练习	222
实训三 常用电工工具的使用及配盘练习	226
参考文献	238

第1章 电路的基本概念和基本定律

随着科学技术的飞速发展,现代电工电子设备种类日益繁多,规模和结构更是日新月异,但无论怎样设计和制造,这些设备绝大多数仍是由各式各样的电路所组成。电路的结构不论多么复杂,它们和最简单的电路之间还是具有许多基本的共性,遵循着相同的规律。本章的重点就是要阐明这些共性及分析电路的基本规律。

本章内容可划分为三个部分:电路的基本概念及电路物理量、基尔霍夫定律及电源模型、电路等效。在《电路基础》课程中,本章的内容是贯穿全书的重要理论基础,要求在学习中给予足够的重视。

本章教学要求

了解和熟悉电路模型和理想电路元件的概念;理解和区分电压、电流、电动势、电功率的概念及其描述问题的不同;进一步熟悉欧姆定律及其扩展应用;充分理解和掌握基尔霍夫定律的内容,并能初步运用基尔霍夫定律分析电路中的实际问题;深刻理解和掌握参考方向在电路分析中的作用;理解和领会电路等效,熟练掌握无源二端网络和有源二端网络等效化简的基本方法。

了解实验室的情况;熟悉常用电路仪器、仪表及其简单使用方法;学会测量直流电路中的电压和电流,学会用万用表测量电阻的方法;通过实验进一步理解基尔霍夫定律、叠加定理和戴维南定理。

1.1 电路和电路模型

学习目标

了解和熟悉电路的组成及其功能,理解实际电路和电路模型的概念及其区别,掌握理想电路元件与实际电路元件在电特性上的不同。

1.1.1 电路的组成及功能

电路: 电流通过的路径称为电路。

实际电路通常由各种电路实体部件(如电源、电阻器、电感线圈、电容器、变压器、仪表、二极管、三极管等)组成。每一种电路实体部件具有各自不同的电磁特性和功能,按照人们的需要,把相关电路实体部件按一定方式进行组合,就构成了一个个电路。如果某个电路元器件数很多且电路结构较为复杂时,通常又把这些电路称为电网络。

手电筒电路、单个照明灯电路是实际应用中的较为简单的电路,而电动机电路、雷达导航设备电路、计算机电路、电视机电路是较为复杂的电路,但不管简单还是复杂,电路的基本组成部分都离不开三个基本环节:电源、负载和中间环节。

电源: 向电路提供电能的装置。它可以将其其他形式的能量,如化学能、热能、机械能、原子能等转换为电能。在电路中,电源是激励,是激发和产生电流的因素。

负载：负载就是人们熟悉的各种用电器，是电路中接收电能的装置。在电路中，负载是响应，通过负载，把从电源接收到的电能转换为人们需要的能量形式，如电灯把电能转换成光能和热能，电动机把电能转换为机械能，充电的蓄电池把电能转换为化学能等。

中间环节：电源和负载连通离不开传输导线，电路的通、断离不开控制开关，实际电路为了长期安全工作还需要一些保护设备（如熔断器、热继电器、空气开关等），它们在电路中起着传输和分配能量、控制和保护电气设备的作用。

工程应用中的实际电路，按照功能的不同可概括为两大类：

(1) 电力系统中的电路：特点是大功率、大电流。其主要功能是对发电厂发出的电能进行传输、分配和转换。

(2) 电子技术中的电路：特点是小功率、小电流。其主要功能是实现电信号的传递、变换、储存和处理。

1.1.2 电路模型

人们设计和制作各种电路部件，是为了利用它们的主要电磁特性实现人们的需要。例如，制作一个滑线变阻器，主要是利用它对电流呈现阻力的性质；制作一个电压源，主要是利用其能在正负极间保持一定电压的性质。但实际上滑线变阻器不仅具有对电流呈现阻力的性质，同时电流通过它时还会在其周围产生磁场；实际的电压源也总是存在内阻的，因此使用时不可能保持定值的端电压。因此，在对实际电路进行分析和计算时，若对实际电气部件的全部电磁特性都加以考虑，势必使问题复杂化，造成分析和计算上的困难。

在电路理论中，为了方便于实际电路的分析和计算，我们通常在工程实际允许的条件下对实际电路进行模型化处理。例如电阻器、灯泡、电炉等，这些电气设备接受电能并将电能转换成光能或热能，光能和热能显然不可能再回到电路中，因此我们把这种能量转换过程不可逆的电磁特性称之为耗能。这些电气设备除了具有耗能的电特性，当然还有其他一些电磁特性，但在研究和分析问题，即使忽略其他这些电磁特性，也不会影响整个电路的分析和计算。因此，我们就可以用一个只具有耗能电特性的“电阻元件”作为它们的电路模型。

工程实际中的电感器，通常是在一个骨架上用漆包线绕制而成。在直流电路中，电感器表现的电磁特性主要是耗能，储存的磁能、电能与耗能的因素相比可以忽略，因此直流下可用一个“电阻元件”来作为这个实际电感器的电路模型；电感器在工频电路中，主要电磁特性不仅有耗能的因素，还具有储存磁场能量的重要因素，这时我们可用一个理想化的电阻元件和一个只具有储存磁能性质的“电感元件”相串联作为它的电路模型；同一个电感器若应用在较高频率的电路时，不仅要考虑上述两种因素，同时还要考虑导体表面的电容效应，因此其电路模型又应是电阻元件和电感元件相串联后再与一个只具有储存电能性质的“电容元件”相并联的组合。

由此可知，同一实体电路部件，其电磁特性是复杂和多元的，并且在不同的外部条件下，它们呈现的电磁特性也会各不相同。

为了方便于问题的分析和计算，在电路基础中，通常忽略次要因素，抓住足以反映其功能的主要电磁特性，抽象出实际电路器件的“电路模型”。这种模型化处理方法是电路分析中简化分析和计算行之有效的方法。

实际电路元件的“电路模型”分为有源和无源两大类，如图 1.1 所示。

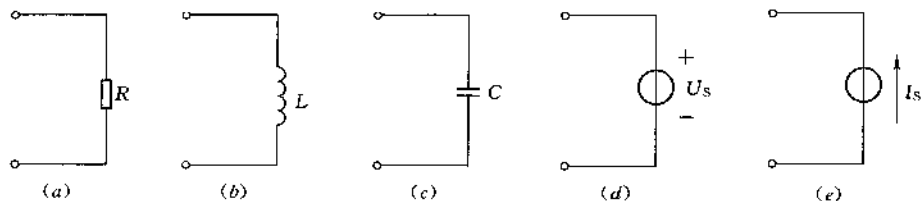


图 1.1 无源和有源的理想电路元件的电路模型

(a) 电阻元件；(b) 电感元件；(c) 电容元件；(d) 理想电压源；(e) 理想电流源

图 1.1 中的无源二端元件有电阻元件、电感元件和电容元件，由于用电器上的电磁特性无非就是归纳为这三种抽象，因此通常把它们称为电路的三大基本元件，简称为电路元件。电路元件是实际电路器件的理想抽象，其电磁特性单一而确切。

图 1.1 中的有源二端元件，其中的“源”是指它们能向电路提供电能。如果电源的主要供电方式是向电路提供一定的电压，就是电压源；如果电源的主要供电方式是向电路提供一定的电流，就称为电流源。

对实际元器件的模型化处理，使得不同的实体电路部件，只要具有相同的电磁性能，在一定条件下就可以用同一个电路模型来表示。这种模型化处理方法显然降低了实际电路的绘图难度。而且，同一个实体电路部件，处在不同的应用条件和环境下，其电路模型可具有不同的形式。有时模型比较简单，仅由一种元件构成；有时模型比较复杂，可用几种理想元件的不同组合构成。因此，实际电路元器件的理想化处理，给分析和计算电路带来了极大的方便。

例如，图 1.2 所示是一个最简单的手电筒电路及其电路模型。

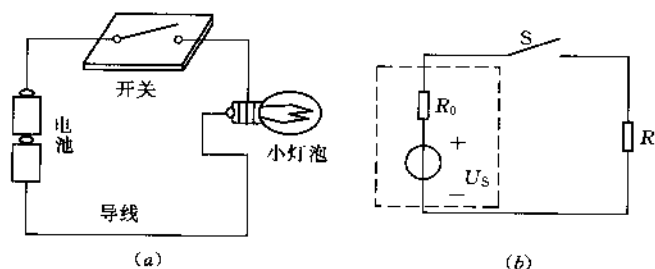


图 1.2 手电筒电路及其电路模型

(a) 手电筒电路；(b) 电路模型

由图 1.2 可看出，手电筒的实体电路较为复杂，而电路模型显然清晰明了。

对电路进行分析，就是要寻求实际电路共有的一般规律，电路模型就是用来探讨存在于具有不同特性的各种真实电路中共同规律的工具。简单地说：电路模型就是与实际电路相对应的、由理想电路元件构成的电路图。

电路模型具有两大特点：一是它里面的任何一个元件都是只具有单一电特性的理想电路元件，因此反映出的电现象都可以用数学方式来精确地分析和计算；二是对各种电路模

型的深入研究，实质上就是探讨各种实际电路共同遵循的基本规律。

需要指出的是，上面所讲到的各种电路模型，只适用于低、中频电路的分析，因为在低、中频电路中，其中的电路元器件基本上都是集总参数元件（即次要因素可以忽略的元件），集总参数元件的电磁过程都分别集中在元件内部进行。而在高频和超高频电路中，元器件上的电磁过程并不是集中在元件内部进行，因此要用“分布电路模型”来抽象和进行描述。

检验学习结果

- 1.1.1 电路由哪几部分组成，各部分的作用是什么？
- 1.1.2 试述电路的组成及其功能。
- 1.1.3 何谓理想电路元件？如何理解“理想”二字在实际电路中的含义？何谓电路模型？
- 1.1.4 请说明集总参数元件的特征。请说明如何在电路中区分电源和负载？

1.2 电路的基本物理量

学习目标

在高中物理学的基础上，进一步熟悉电流、电压、电功率等电路物理量的概念，并学会从工程应用的角度重新理解它们，掌握其国际单位制，理解电位的相对性和电压的绝对性，区分电压和电动势的相同点和不同点；深刻领会参考方向的问题。

1.2.1 电流

电荷有规则的定向移动形成电流。在稳恒直流电路中，电流的大小和方向不随时间变化；在正弦交流电路中，电流的大小和电荷移动的方向按正弦规律变化。

在金属导体内部，自由电子可以在原子间作无规则的运动；在电解液中，正负离子可以在溶液中自由运动。如果在金属导体或电解液两端加上电压，在金属导体内部或电解液中就会形成电场，自由电子或正负离子就会在电场力的作用下，做定向移动从而形成电流。

电流的大小是用单位时间内通过导体横截面的电量进行衡量的，称为电流强度，即

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1.1)$$

稳恒直流电路中，电流的大小及方向都不随时间变化时，其电流强度可表示为

$$I = \frac{Q}{t} \quad (1.2)$$

注意：在电路理论中，一般将变量用小写的英文字母来表示，而将恒量用大写的英文字母来表示。如式(1.1)中的电流和电量都是用的的小写英文字母，而式(1.2)中它们则用大写。

高中物理学中，我们把电荷的定向移动称为电流，即电流表明一种物理现象。在电学中，电路中的电流强度简称电流，电流是电路中的主要电量，用电器上通过电流就是它们吸收电能并把电能转换成其他形式的能量为人们利用的实例。

物理学习上规定正电荷移动的方向作为电流的正方向，这一习惯规定同样适用于电路。电路中，电流的大小用来定量地反映电流的强弱；电流的方向，则是用方程式中电流前面的“+”、“-”号来表示（后面详细讲述）。

在式(1.1)和式(1.2)中，当电量 $q(Q)$ 的单位采用国际单位制库仑(C)、时间 t 的单位用国际单位制秒(s)时，电流 $i(I)$ 的单位就应采用国际单位制安培(A)。

电流还有较小的单位毫安(mA)、微安(μA)和纳安(nA)，它们之间的换算关系为

$$1\text{A} = 10^3\text{mA} = 10^6\mu\text{A} = 10^9\text{nA}$$

1.2.2 电压、电位和电动势

1. 电压

根据中学物理学可知，电压就是将单位正电荷从电路中一点移至电路中另一点电场力所做的功，用数学式可表达为

$$U_{ab} = \frac{W_a - W_b}{q} \quad (1.3)$$

其中 U_{ab} 就是电压。当电功的单位用焦耳(J)，电量的单位用库仑(C)时，电压的单位是伏特(V)。电压的单位还有千伏(kV)和毫伏(mV)，各种单位之间的换算关系为

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

由欧姆定律可知，如果把一个电压加在电阻两端，电阻中就会有电流通过。实际电路中的情况也是如此，当我们在负载两端加上一个电压时，负载中同样会有电流通过，而电流通过负载时必定会在负载两端产生电压降，即发生能量转换的过程。由此可见，电压是电路中产生电流的根本原因（就像水路中产生水流的原因是水位差一样的道理）。

电压在电路分析中也存在方向问题。一般规定：电压的正方向是由高电位“+”指向低电位“-”，因此通常把电压称为电压降。

2. 电位

电路中各点位置上所具有的势能称为电位。空间各点位置的高度都是相对于海平面或某个参考高度而言的，没有参考高度讲空间各点的高度无意义。同样，电路中的电位也具有相对性，只有先明确了电路的参考点，再讨论电路中各点的电位才有意义。电路理论中规定：电位参考点的电位取零值，其他各点的电位值均要和参考点相比，高于参考点的电位是正电位，低于参考点的电位是负电位。

理论上，参考点的选取是任意的。但实际应用中，由于大地的电位比较稳定，所以经常以大地作为电路参考点。有些设备和仪器的底盘、机壳往往需要与接地极相连，这时我们也常选取与接地极相连的底盘或机壳作为电路参考点。电子技术中的大多数设备，很多元件常常汇集到一个公共点，为方便分析和研究，我们也常常把电子设备中的公共连接点作为电路的参考点。

电位的高低正负都是相对于参考点而言的。只要电路参考点确定之后，电路中各点的电位数就是唯一的、确定的了。实际上，电路中某点的电位，数值上等于该点到参考点之间的电压。因此，在电子技术中检测电路时，常常选取某一公共点作为参考点，用电压

表的负极表棒与该点相接触，而正极表棒只需点其他各点来测量它们的电位是否正常，即可查找出故障点。引入电位的概念后，给分析电路中的某些问题带来了不少方便。例如，一个电子电路中有5个不同的点，任意两点间均有一定的电压，直接用电压来讨论要涉及到10个不同的电压，而改用电位讨论时，只需把其中的一个点作为电路参考点，只讨论其余4个点的电位就可以了。

电位的定义式与电压的定义式的形式相同，因此它们的单位相同，也是伏特（V）。所不同的是，电位特指电场力把单位正电荷从电场中的一点移到参考点所做的功。为了区别于电压，我们在电学中把电位用单注脚的V表示，电压和电位的的关系为

$$U_{ab} = V_a - V_b \quad (1.4)$$

即电路中任意两点间电压，在数值上等于这两点电位之差。由式（1.4）也可以看出，电压是绝对的量，电路中任意两点间的电压大小，仅取决于这两点电位的差值，与参考点无关。

3. 电动势

电动势和电位一样属于一种势能，它反映了电源内部能够将非电能转换为电能的本领。从电的角度上看，电动势代表了电源力将电源内部的正电荷从电源负极移到电源正极所做的功，是电能累积的过程。电动势定义式的形式与电压、电位类同，因此它们的单位相同，都是伏特（V）。

电路中的持续电流需要靠电源的电动势来维持，这就好比水路中需要用水泵来维持连续的水流一样。水泵之所以能维持连续的水流，是由于水泵具有将低水位的水抽向高水位的本领，从而保持水路中两处的水位差，高处的水就能连续不断地流向低处。电源之所以能够持续不断地向电路提供电流，也是由于电源内部存在电动势的缘故。电动势用符号E表示。在电路分析中，电动势的方向规定由电源负极指向电源正极，即电位升高的方向。

1.2.3 电功和电功率

1. 电功

电流能使电动机转动，电炉发热，电灯发光，说明电流具有做功的本领。电流做的功称为电功。电流做功的同时伴随着能量的转换，其做功的大小显然可以用能量进行度量，即

$$W = UIt \quad (1.5)$$

其中电压的单位用伏特（V），电流的单位用安培（A），时间的单位用秒（s）时，电功（或电能）的单位是焦耳（J）。工程实际中，还常常用千瓦时（kW·h）来表示电功（或电能）的单位，1kW·h又称为一度电。一度电的概念可用下述例子解释：100W的灯泡使用10h耗费的电能是1度；40W的灯泡使用25h耗费电能也是1度；1000W的电炉加热1h，耗费电能还是1度，即1度=1kW×1h。

2. 电功率

单位时间内电流做的功称为电功率。电功率用P表示，即

$$P = \frac{W}{t} = \frac{UIt}{t} = UI \quad (1.6)$$

其中电功的单位为焦耳（J），时间的单位为秒（s），电压的单位为伏特（V），电流的单