

高等学校计算机科学与技术专业教材

电子技术基础

(上册)

沈复兴 主编 陈利永 编著



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

TN101
81-上

高等学校计算机科学与技术专业教材

电子技术基础

(上 册)

沈复兴 主编
陈利永 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 · BEIJING

内 容 简 介

本书将原来的《电路》、《模拟电子技术基础》和《数字电子技术基础》三册教材的内容有机地整合起来,形成《电子技术基础》(上、下册)新的教材体系,该教材体系可在两个学期内完成原来要三个学期才能完成的教学内容。本书分为两部分,主要介绍电路和模拟电子技术基础课程的内容,主要的内容有:第1章直流电路分析基础,第2章正弦稳态电路的分析,第3章RC电路的特性,第4章半导体二极管及其应用,第5章半导体三极管和场效应管及其应用,第6章负反馈放大器,第7章集成运算放大器和信号处理电路,第8章波形产生和变换电路,第9章功率放大器,第10章直流稳压电源。本书除了介绍上述内容外,在附录部分还介绍了 EWB 和 MATLAB 软件的简单使用方法。

本书适合作为计算机和电子信息类专业本科生的教材,也可作为电子信息类专业学生报考研究生的复习参考书。

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

电子技术基础.上册/沈复兴,陈利永编著. —北京:电子工业出版社,2003.8
高等学校计算机科学与技术专业教材
ISBN 7-5053-8987-4

I.电… II.①沈…②陈… III.电子技术—高等学校—教材 IV.TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 068811 号

责任编辑:凌 毅

印 刷:北京大中印刷厂

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:787×980 1/16 印张:22.75 字数:510 千字

版 次:2003 年 8 月第 1 版 2003 年 8 月第 1 次印刷

印 数:5000 册 定价:26.00 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

前 言

随着信息科学时代的到来,为了适应电子信息科学技术迅猛发展的需要,贯彻国家教委《关于组织实施“高等教育教学内容和课程体系改革计划”的通知》的精神,本书对计算机专业学生必修的硬件基础课——“电路”、“模拟电子技术基础”和“数字电子技术基础”三门课程的内容和体系进行有机地整合,形成“电子技术基础”新的课程体系。该课程体系的主要特点表现为以下的几个方面。

1. 通过整合将三门课程中交叉重复的内容归并起来。为了保证本书所叙述内容的深度和广度,本书在归并交叉重复内容时不是采用简单的删除办法,而是采用前后呼应的整合方法,将被归并掉的内容以基本原理、实际应用的例题等形式出现在相关的章节中。

2. 通过整合将“电路”、“模拟电子技术基础”和“数字电子技术基础”课程的内容有机地结合在一起,有利于培养学生分析问题和解决问题的能力,有利于培养学生综合利用各科知识讨论某些具体问题的能力,有利于学生综合素质的提高。

3. 通过整合有利于教学计划的安排,保证学生在二年级学完本课程,为三年级以后的专业课打下扎实的基础。

另外,本书在叙述的过程中,注意引导学生对物理概念的理解,强化理论的推理过程,注意引导学生开放性的思维方法,有意识地培养学生从不同的渠道、利用不同的方法对同一个问题进行讨论,让学生掌握一题多解的方法,以加深学生对基本概念和基础知识的理解,培养学生分析问题和解决问题的能力,提高学生的综合素质。在解题的过程中,引导学生用 MATLAB 软件进行数值的运算,并向学生介绍 EWB 仿真软件,引导学生用仿真软件对理论知识进行验证,做到理论联系实际,以加深学生的感性认识,提高学习效率。

感谢北京师范大学信息科学学院的老师对我们工作的支持,感谢北京师范大学信息科学学院的匡锦瑜教授对书稿的审阅并提出了宝贵的意见,使作者受益匪浅。感谢福建师范大学数学与计算机科学学院的院长吴子文教授对作者所从事教学改革的支持。感谢福建师范大学计算机科学系的陈家祯老师所撰写的附录内容为作者使用 EWB 和 MATLAB 提供有益的帮助。

限于作者的水平,书中的错误疏漏之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

编著者

教材编委会

主 任 沈复兴

副主任 张为群 黄国兴 李吉桂

秘书长 罗运纶

委 员 吕英华 冯德民 肖德宝 王万森 马希荣

目 录

第一部分 电路分析基础知识

第 1 章 直流电路分析基础	1
1.1 绪论	1
1.1.1 电子技术基础课程所研究的问题	1
1.1.2 电路和电路模型	2
1.1.3 描述电路工作状态的几个物理量	3
1.1.4 电流、电压和电动势的参考方向	6
1.1.5 欧姆定律	7
1.1.6 电功率、电源和负载的判断	8
1.2 电器设备的额定值和电路的 3 种工作状态	9
1.2.1 电器设备的额定值	9
1.2.2 电路的 3 种工作状态	10
1.3 基尔霍夫定律和支路电流法	11
1.3.1 名词术语	12
1.3.2 基尔霍夫电流定律(KCL)	12
1.3.3 基尔霍夫电压定律(KVL)	13
1.3.4 支路电流法	13
1.4 电阻电路的等效变换法	16
1.4.1 电阻的串联	17
1.4.2 电阻的并联	17
1.4.3 电阻的混联	18
1.4.4 电阻 Y 形连接和 Δ 形连接的等效变换	18
1.4.5 输入电阻	22
1.5 电压源和电流源的等效变换	23
1.5.1 电压源	23
1.5.2 电流源	24
1.5.3 电压源和电流源的等效变换	25
1.6 叠加定理	26
1.7 节点电位法	28
1.8 戴维南定理和诺顿定理	29

1.8.1 戴维南定理	29
1.8.2 诺顿定理	33
1.8.3 负载获得最大功率的条件	33
1.9 电路分析综合练习	34
1.10 小结和讨论	40
习题和思考题	41
第2章 正弦稳态电路的分析	45
2.1 正弦交流电路	45
2.1.1 正弦交流电量的参考方向	45
2.1.2 正弦交流电量的三要素	45
2.1.3 相位差	47
2.1.4 正弦交流电量的有效值	49
2.1.5 正弦交流电的表示法	50
2.2 单一参数的正弦交流电路	55
2.2.1 纯电阻元件的交流电路	55
2.2.2 纯电感元件的交流电路	56
2.2.3 纯电容元件的交流电路	60
2.3 电阻、电容、电感串联的交流电路	63
2.3.1 RLC 串联电路电流和电压的关系	63
2.3.2 RLC 串联电路阻抗的关系	64
2.3.3 RLC 串联电路功率的关系	65
2.4 正弦稳态电路分析法	66
2.4.1 相量形式的电路定理	66
2.4.2 正弦稳态电路分析法综合例题	67
2.5 正弦交流电路的谐振	76
2.5.1 RLC 串联谐振	77
* 2.5.2 RLC 并联谐振	79
* 2.6 三相交流电路	82
* 2.6.1 三相电路的负载连接	82
* 2.6.2 三相电路分析	83
* 2.6.3 安全用电常识	87
2.7 小结和讨论	88
习题和思考题	90
第3章 RC 电路的特性	95
3.1 动态电路方程及其初始条件	95
3.1.1 动态电路方程	95

3.1.2 换路定则及初始值的确定	97
3.2 动态电路求解的三要素法	100
3.3 RC 一阶电路在脉冲电压作用下的暂态过程	104
3.3.1 微分电路	104
3.3.2 RC(阻容)耦合电路	104
3.3.3 积分电路	105
3.4 RC 一阶电路在正弦信号激励下的响应	105
3.4.1 RC 低通滤波器	106
3.4.2 RC 高通滤波器	108
3.5 小结和讨论	110
习题和思考题	110
电路分析综合复习题	112

第二部分 模拟电子技术基础

第4章 半导体二极管及其应用	114
4.1 半导体基础知识	114
4.1.1 本征半导体	114
4.1.2 本征激发和两种载流子	115
4.1.3 杂质半导体	115
4.1.4 PN 结	117
4.2 半导体二极管	120
4.2.1 半导体二极管的结构	120
4.2.2 二极管的伏-安特性曲线	120
4.2.3 二极管的主要参数	121
4.2.4 二极管极性的简易判别法	122
4.2.5 二极管的等效电路	122
4.3 二极管的应用	123
4.3.1 二极管整流电路	123
4.3.2 桥式整流电路	124
4.3.3 倍压整流电路	125
4.3.4 限幅电路	125
4.3.5 与门电路	126
4.4 稳压管	127
4.4.1 稳压管的结构和特性曲线	127

4.4.2 稳压管的主要参数	128
4.4.3 其他类型的二极管	129
4.5 小结和讨论	130
习题和思考题	130
第5章 半导体三极管和场效应管及其应用	132
5.1 半导体三极管的基本结构	132
5.1.1 三极管内部结构	132
5.1.2 三极管的电流放大作用	133
5.1.3 三极管的共射特性曲线	135
5.1.4 三极管的主要参数	137
5.2 共发射极电压放大器	139
5.2.1 电路的组成	139
5.2.2 共发射极电路图解分析法	139
5.2.3 微变等效电路分析法	142
5.3 电压放大器工作点的稳定	147
5.3.1 稳定工作点的必要性	147
5.3.2 工作点稳定的典型电路	148
5.3.3 复合管放大电路	151
5.4 共集电极电压放大器	152
5.5 共基极电压放大器	154
5.6 多级放大器	155
5.6.1 阻容耦合电压放大器	156
5.6.2 共射 - 共基放大器	157
5.6.3 直接耦合电压放大器	159
5.7 差动放大器	161
5.7.1 电路组成	161
5.7.2 静态分析	163
5.7.3 动态分析	164
5.7.4 差动放大器输入、输出的4种组态	165
5.8 放大器的频响特性	169
5.8.1 三极管高频等效模型	169
5.8.2 晶体管电流放大倍数 β 的频率响应	171
5.8.3 单管共射放大电路的频响特性	172
5.9 场效应管电压放大器	180
5.9.1 结型场效应管的类型和构造	180

5.9.2	绝缘栅型场效应管的类型和构造	184
5.9.3	场效应管主要参数	187
5.9.4	场效应管放大电路	188
5.9.5	场效应管与晶体管的比较	191
5.10	小结和讨论	191
	习题和思考题	192
第 6 章	负反馈放大器	198
6.1	负反馈的基本概念	198
6.1.1	反馈的基本概念和类型	198
6.1.2	反馈的判断	198
6.1.3	反馈放大器的 4 种组态	199
6.2	负反馈放大器的表达式	203
6.2.1	负反馈放大器的基本关系式	203
6.2.2	4 种反馈组态的反馈系数和闭环电压放大倍数的分析计算	204
6.3	负反馈对放大电路性能的改善	210
6.3.1	稳定放大倍数	210
6.3.2	对输入电阻和输出电阻的影响	211
6.3.3	放大器引入负反馈的一般原则	212
6.4	小结和讨论	213
	习题和思考题	214
第 7 章	集成运算放大器和信号处理电路	217
7.1	概述	217
7.1.1	集成运放电路的特点	217
7.1.2	集成运放电路的组成框图	217
* 7.2	电流源电路	218
* 7.2.1	基本电流源电路	218
* 7.2.2	以电流源为有源负载的放大器	220
7.3	集成运放内部电路简介和理想运放的参数	221
7.3.1	集成运放内部电路简介	221
7.3.2	集成运放的主要参数	223
7.4	理想集成运放的参数和工作区	224
7.4.1	理想运放的性能指标	224
7.4.2	理想运放在不同工作区的特点	225
7.5	基本运算电路	226
7.5.1	比例运算电路	226
7.5.2	加减运算电路	232

7.5.3	积分和微分运算电路	236
7.5.3	对数和指数(反对数)运算电路	237
7.5.4	乘法和除法运算电路	238
7.6	有源滤波器	243
7.6.1	有源低通滤波器	244
7.6.2	其他形式的滤波电路	249
7.7	小结与讨论	256
	习题和思考题	257
第8章	波形产生和变换电路	261
8.1	正弦波产生电路	261
8.1.1	正弦波产生电路的组成	261
8.1.2	RC 正弦波振荡电路	262
8.1.3	LC 正弦波振荡器	264
8.1.4	石英晶体正弦波振荡电路	268
8.2	电压比较器	271
8.2.1	电压比较器的电压传输特性	271
8.2.2	单门限电压比较器	272
8.2.3	滞回电压比较器	273
8.2.4	窗口电压比较器	276
8.3	非正弦波信号发生电路	277
8.3.1	矩形波信号发生电路	277
8.3.2	三角波信号发生电路	279
8.3.3	锯齿波信号发生器	280
*8.4	锁相环电路及其应用	281
*8.4.1	锁相环的组成和工作原理	281
*8.4.2	锁相环的应用	283
8.5	小结与讨论	285
	习题和思考题	285
第9章	功率放大器	289
9.1	功率放大器的特点	289
9.1.1	功率放大电路的特殊问题	289
9.1.2	功率放大器的工作状态	290
9.2	乙类互补对称功率放大器	292
9.2.1	OCL 功放电路的组成	292
9.2.2	交越失真的消除方法	293
9.2.3	OCL 功放电路晶体管的选择	294

9.2.4 OTL 功放电路的组成和工作原理	295
* 9.2.5 桥式推挽功率放大电路	296
9.3 集成功率放大电路	296
9.3.1 DG4100 型集成功率放大器的内部结构	297
9.3.2 DG4100 型集成功率放大器的使用方法	297
9.4 小结和讨论	298
习题和思考题	299
第 10 章 直流稳压电源	300
10.1 直流稳压电源的组成	300
10.1.1 直流稳压电源的组成框图	300
10.1.2 串联型稳压电源电路	300
10.1.3 稳压电源的主要指标	303
10.2 串联型集成稳压电路	303
10.2.1 串联型集成稳压电路的组成	303
10.2.2 三端稳压器的基本应用电路	304
10.3 小结和讨论	306
习题和思考题	306
模拟电子电路期末练习题	306
附录 A 模拟电子电路读图常识	310
附录 B 三极管共射 h 参数等效模型	313
附录 C EWB 软件使用简介	315
C.1 EWB 的安装	315
C.2 EWB 工作的窗口界面	316
C.3 电路窗口功能说明	318
C.3.1 主电路窗口	318
C.3.2 EWB 的菜单和命令	319
C.3.3 工具栏菜单	322
C.4 EWB 中虚拟仪器的使用	325
C.4.1 数字万用表【Multimeter】	326
C.4.2 信号发生器【Function Generator】	327
C.4.3 示波器	327
C.4.4 波特图仪	328
C.5 模拟电路的建立与测试实例	328
C.5.1 模拟电路的建立	329
C.5.2 单元电路的测试	331
C.5.3 小信号共发射极电压放大器电路设计仿真	331

C.5.4 有源滤波器频响特性的测试	334
附录 D MATLAB 语言使用简介	337
D.1 MATLAB 语言的特点	337
D.2 MATLAB 的安装	337
D.3 MATLAB 的运行界面	340
D.4 用 MATLAB 解矩阵的实例	341
参考文献	351

第一部分 电路分析基础知识

第 1 章 直流电路分析基础

1.1 绪 论

1.1.1 电子技术基础课程所研究的问题

电子技术基础是介绍电子技术基本理论的一门专业基础课。该课程所研究的问题是:处理各类信号的电子系统的基本组成和工作原理。

信号是信息的载体,描述信号的基本方法是写出它的数学表达式,此表达式是时间的函数,根据此函数绘制的图像称为信号的波形。按照时间函数取值的连续性与离散性可将信号分为连续时间信号和离散时间信号。

连续时间信号的幅度变化可以是连续的,也可以是不连续的。在电子技术中,将幅度的变化也是连续的连续时间信号称为模拟信号。如大家熟悉的正弦交流电信号和广播电台发射的无线电信号。将幅度的变化也是离散的离散时间信号称为数字信号。如计算机处理的信号就是数字信号。模拟信号和数字信号的波形如图 1-1 所示。

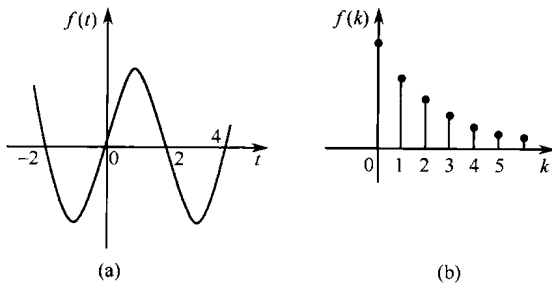


图 1-1 模拟信号和数字信号的波形图

模拟电子技术研究的问题是:处理模拟信号的电路;数字电子技术研究的问题是:处理数字信号的电路。

因为模拟电子技术课程的分析 and 计算是建立在电路分析课程的基础之上,所以在介绍模拟电子技术课程的具体内容之前,先介绍电路分析课程的主要内容。

电路分析课程的主要任务是:研究对描述电路工作状态的几个物理量(电流,电压,电荷,

磁链,功率等)进行分析和计算的方法。

1.1.2 电路和电路模型

将多个电气设备或元器件,按其所要完成的功能用一定的方式联接起来的总体称为电路,电路是电流流通的路径。电路通常由电源、负载和中间环节 3 部分组成。

电源是指电路中可将化学能、机械能、原子能等其他形式的能量转换成电能,并向电路提供能量的那些设备,如干电池,发电机等。

在电路分析的課程中,电源也称为电压源(为电路提供电压的器件)和电流源(为电路提供电流的器件)。除了电压源和电流源之外,还有受控电压源(输出电压受外界输入信号控制的电压源)和受控电流源(输出电流受外界输入信号控制的电流源),各种电源在电路中常用的符号如图 1-2 所示。

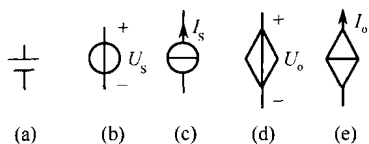


图 1-2 电源常用的符号

图(a)和图(b)是电压源的符号,图(c)是电流源的符号,图(d)是受控电压源的符号,图(e)是受控电流源的符号。

负载是指电路中能将电能转换为其他形式能量的用电器,如电灯、电动机、电热器等。负载在电路中通常表示成电阻,用字母 R 来表示,电阻在电路中常用的符号为

“”。

中间环节是指将电源与负载连接成闭合电路的导线,开关,保护设备,测量仪表等。

任何实际的电路都是由多种电气元器件组成的,不管是简单的手电筒电路,还是复杂的计算机电路。电路中各种元器件所表征的电磁现象和能量转换的关系一般都比较复杂,若按实际电气元器件来做电路图有时也比较困难和繁杂,因此,在分析和计算实际电路时,必须用理想的电气元器件及其组合来近似代替实际电气元器件所组成的实际电路。这种由理想元器件所组成的与实际电气元器件相对应,并用统一规定的符号来表示而构成的电路,就是实际电路的模型,通常称为模型电路。手电筒的实际电路和模型电路如图 1-3(a)、(b)所示。

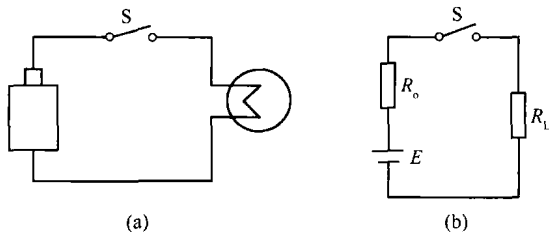


图 1-3 手电筒的实际电路和模型电路

搭建各种电路都有一定的目的,尽管电路的结构千差万别,但他们的功能大致可概括为两大类:一是作为能量的传输或转换,如照明和动力电路等;二是作为信号的传递和处理,如计算机和通信电路等。

1.1.3 描述电路工作状态的几个物理量

1. 电流

电荷的定向运动形成电流,习惯上将正电荷运动的方向规定为电流的流动方向。计量电流大小的物理量称为电流强度,简称电流,用英语字母 I 来表示。

电流强度的定义为:单位时间内通过导体横截面的电量。如果任一瞬间,通过导体横截面的电量是大小和方向均不随时间变化的 Q ,则电流强度 I 的表达式为

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

根据国家标准,不随时间变化的物理量用大写字母来表示,随时间变化的物理量用小写字母来表示,所以,式(1-1)就是直流电流强度的表达式,交流电流强度的表达式为

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1-2)$$

在国际单位制(SI)中,电流强度的单位为安培,简称安(A)。大型电力变压器中的电流可达几百到上千安培,而晶体管电路中的电流往往只有千分之几安培,对于很小的电流可用毫安(mA)或微安(μ A)表示,它们之间的换算关系为

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

2. 电压

在物理学课程中已知,电荷在电场中移动时,电场力将对电荷做功。为了描述电场力对电荷作功能力的大小,引入物理量——电压。

电场中 a, b 两点间电压 U_{ab} 的定义为: U_{ab} 在数值上等于把单位正电荷从 a 点移到 b 点,电场力所作的功。电压的定义式为

$$U_{ab} = \frac{W}{Q} \quad (1-3)$$

电压也常写成电位差的形式,即

$$U_{ab} = U_a - U_b \quad (1-4)$$

式中的 U_a 和 U_b 分别表示电场中 a, b 两点对零电位点的电压。当 U_{ab} 大于零时,说明 a 点的电位比 b 点高;当 U_{ab} 小于零时,说明 a 点的电位比 b 点低。

在电路分析课程中,通常将处在高电位的 a 端用“+”号来表示,而用“-”来表示处在低电位的 b 端,电压的方向是由高电位指向低电位。即由 a 指向 b ,如图 1-4 所示。

随时间变化的电压表达式为

$$u = \frac{dw}{dq} \quad (1-5)$$

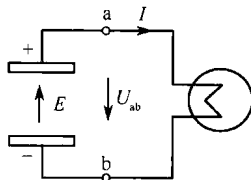


图 1-4 电压和电动势方向的示意图

在国际单位制中,电压的单位为伏特(V),简称伏。1 伏电压在数值上等于将 1 库仑的正电荷从 a 点移到 b 点,电场力做了 1 焦耳的功。

3. 电动势

电动势是表征电源特征的物理量。在图 1-4 中,正电荷在电场力的作用下,从高电位 a 点经过负载(灯泡)向低电位 b 点移动,形成电流 I 。正电荷由 a 移到 b 时,就要与 b 极板上的负电荷中和,使两极板上的电荷逐渐减少,两极板间的电场也逐步减小,相应的电流也将逐渐减小到中断。为了使电路中的电流能够持续不断,在 a、b 两极板之间必须有一种非电场力,可以将正电荷从低电位的 b 极板通过电源内部推向高电位的 a 极板,使 a、b 两电极间始终维持有一定的电位差,电源是靠非电场力来完成这个任务的。

在图 1-4 中,电源是一个电池,其内部化学反应所产生的非电场力将正电荷从低电位 b 电极,通过电源内部推向高电位 a 电极,并在电源内部建立起电场,使电源的正、负两极维持一定的电位差。

非电场力在电源内部不断地把正电荷从低电位点移向高电位点就要克服电场力作功,电源的电动势就是表征电源内部非电场力对电荷作功能力大小的物理量,用符号 E 来表示。综上所述,电源的电动势在数值上等于非电场力把单位正电荷从电源的低电位点 b 经电源内部移到高电位点 a 时所作的功。用公式表示为

$$E_{ba} = \frac{W}{Q} \quad (1-6)$$

式中的 Q 是电源内部由非电场力移动的电量, W 是非电场力所作的功。比较式(1-4)与式(1-6)可见,电动势与电压具有相同的量纲,所以,电动势和电压具有相同的单位伏特(V)。电动势与电压虽然单位相同,但两者物理概念却不同。

电动势是描述电源的非电场力对电荷作功能力大小的物理量。在电源内部,非电场力将正电荷从电源负极移到正极作功,将非电能转化为电能。电动势的作用是使正电荷获得电能而电位升高,所以,电动势的实际方向是从电源内部的负极指向电源的正极,即电位升高的方向。

电压是描述电源的电场力对电荷作功能力大小的物理量。在电源外部,电场力将正电荷从电源正极移到负极作功,将电能转化为其他形式的能量。电压的作用是使正电荷的电位降低,对外作功,所以,电压的实际方向是从电源的正极指向负极,即电位降低的方向。电源电动势和电压的实际方向刚好相反。

综合图 1-4 可见,在电源内部非电场力作功,将非电能转化为电能,并建立电动势维持电源两极板间的电位差保持不变;而在外电路中,电场力作功,负载将电能转化为非电能。由于电源两极间存在着电压,只要电路一接通,电流就持续不断。在电源内部,因电动势的作用,电流从负极流向正极,即从低电位流向高电位;而在外电路中,因电压的作用,电流从高电位流向低电位,即电位降落的方向。