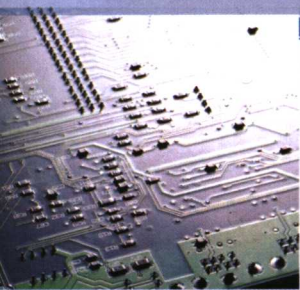


▶ 高等院校电子信息类规划教材



电子电路基础

陈利永 编著

中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

高等院校电子信息类规划教材

电子电路基础

陈利永 编著

中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

内 容 提 要

本书将原来的《电路分析》和《模拟电子技术基础》两门课程的内容有机整合起来,形成《电子电路基础》新的教材,从而使本教材可以在一个学期内完成两门课程的教学内容。本书的主要内容有:第1章介绍电路分析基础,第2章介绍正弦稳态电路的分析,第3章介绍RC电路的特性,第4章介绍半导体二极管及其应用,第5章介绍半导体三极管和场效应管及其应用,第6章介绍负反馈放大器,第7章介绍集成运算放大器和信号处理电路,第8章介绍波形产生和变换电路,第9章介绍功率放大器,第10章介绍直流稳压电源。本书除了介绍上述的内容外,在附录部分还介绍了Multisim和MATLAB软件的简单使用方法,帮助学生掌握用Multisim软件进行实验验证和用MATLAB软件进行解题的技巧。本书可以作为计算机和电子信息类专业本科教材,也可以作为电子信息类学生考研用书。

图书在版编目(CIP)数据

电子电路基础/陈利永编著. —北京:中国铁道出版社, 2006.7
高等院校电子信息类规划教材
ISBN 7-113-07329-8

I. 电... II. 陈... III. 电子电路—高等学校—教材 IV. TN710

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第085162号

书 名: 电子电路基础

作 者: 陈利永

出版发行: 中国铁道出版社(100054,北京市宣武区右安门西街8号)

策划编辑: 严晓舟 秦绪好

责任编辑: 苏 茜 谢立和 熊严飞

封面设计: 高 洋

责任校对: 张国成

印 刷: 北京鑫正大印刷有限公司

开 本: 787×1092 1/16 印张: 21.25 字数: 497千

版 本: 2006年8月第1版 2006年8月第1次印刷

印 数: 1~5 000册

书 号: ISBN 7-113-07329-8/TP·2014

定 价: 28.00元

版权所有 侵权必究

本书封面贴有中国铁道出版社激光防伪标签,无标签者不得销售

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社计算机图书批销部调换。

随着信息技术的发展,计算机专业和电子信息专业产生了许多新的专业课,为了在有限的时间内让学生学到更多的知识,必须要压缩基础课的学时,在学时比较少的前提下,如何保证基础课的教学质量是当前教学改革所面临的一大问题。

为了解决《电路分析》和《模拟电路》的课程内容多,课时数不够的矛盾。我们根据《电路分析》和《信号与系统》课程中相关内容重复的特点,将《电路分析》的课程内容拆成两部分,一部分并入《模拟电路》中,形成《电子电路基础》课程体系,另一部分并入《信号与系统》中,收到很好的教学效果。《电子电路基础》课程体系的主要特点有以下几个方面。

(1) 将《电路分析》和《模拟电路》课程中交叉重复的内容归并。为了保证本书所叙述内容的深度和广度,本书采用前后呼应的整合方法,将被归并的内容以基本原理、实际应用的例题等形式出现在相关的章节中。这样做的目的是,既可保证基础知识的完整性和连贯性,又可以增加学生练习的机会,加深学生对所学知识的理解,也有时间对某些重点的课题进行深入讨论,使知识系统化。

(2) 将《模拟电路》的教学内容看成是《电路分析》教学内容的延伸。两门课程的内容有机地结合在一起,有利于培养学生分析问题、解决问题以及实践应用的能力,从而提高学生的综合素质。

(3) 将原来在大学一年级下学期开设的《电路分析》和在大学二年级上学期开设的《模拟电路》两门课程,归并成在大学二年级上学期开设《电子电路基础》课程。这种课程体系不仅解决了在大学一年级下学期开设《电路分析》时,因学生的数学知识不够,无法提高《电路分析》课程教学质量的矛盾,又为后续专业课的开设让出课时。

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,引导学生使用 MATLAB 软件进行数值运算,并介绍用 Multisim 仿真软件对理论知识进行验证的方法,做到理论联系实际,以加深学生的感性认识,提高学习的效率。

本书由福建闽江学院计算机科学系的陈利永教授根据多年授课经验编写而成,本书的课程体系结构已在福建师范大学计算机科学系本科生的教学中试用,且收到很好的教学效果,被评为福建省精品课程建设的项目。

感谢福建师范大学数学与计算机科学学院院长吴子文教授对作者在福建师范大学期间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为作者使用 MATLAB 软件所提供的帮助,感谢福建师范大学协和学院的蔡银河老师为作者提供 Multisim 软件和使用该软件所提供的帮助。

限于编者的水平,书中的错误疏漏之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

作者

2006年5月

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 引言	1
1.1.1 电子电路基础课程研究的问题	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三种工作状态	9
1.2.1 电器设备的额定值	9
1.2.2 电路的三种工作状态	9
1.3 基尔霍夫定律和支路电流法	11
1.3.1 名词术语	11
1.3.2 基尔霍夫电流定律 (KCL)	11
1.3.3 基尔霍夫电压定律 (KVL)	12
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	16
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 连接的等效变换	19
1.4.5 输入电阻	22
1.5 电压源和电流源的等效变换	24
1.5.1 电压源	24
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	30
1.8.1 戴维南定理	30
1.8.2 诺顿定理	33
1.8.3 负载获得最大功率的条件	34
1.9 电路分析综合练习	35

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	44
2.1 正弦交流电路	44
2.1.1 正弦交流电量的参考方向	44
2.1.2 正弦交流电量的三要素	44
2.1.3 相位差	46
2.1.4 正弦交流电量的有效值	48
2.1.5 正弦交流电的表示法	48
2.2 单一参数的正弦交流电路	53
2.2.1 纯电阻元件的交流电路	54
2.2.2 纯电感元件的交流电路	55
2.2.3 纯电容元件的交流电路	59
2.3 电阻、电容、电感串联的交流电路	62
2.3.1 RLC 串联电路电流和电压的关系	62
2.3.2 RLC 串联电路阻抗的关系	62
2.3.3 RLC 串联电路功率的关系	63
2.4 正弦稳态电路分析法	64
2.4.1 相量形式的电路定理	64
2.4.2 正弦稳态电路分析法综合例题	65
2.5 正弦交流电路的谐振	78
2.5.1 RLC 串联谐振	78
*2.5.2 RLC 并联谐振	81
*2.6 三相交流电路	85
*2.6.1 三相电路的负载连接	85
*2.6.2 三相电路分析	85
*2.6.3 安全用电常识	90
2.7 小结和讨论	91
习题和思考题	93
第 3 章 RC 电路的特性	97
3.1 动态电路的方程及其初始条件	97
3.1.1 动态电路的方程	97
3.1.2 换路定则及初始值的确定	99
3.2 动态电路求解的三要素法	102
3.3 RC 一阶电路在脉冲电压作用下的暂态过程	105
3.3.1 微分电路	105
3.3.2 RC (阻容) 耦合电路	107

3.3.3 积分电路.....	107
3.4 RC 一阶电路在正弦信号激励下的响应.....	109
3.4.1 RC 低通滤波器.....	109
3.4.2 RC 高通滤波器.....	111
3.5 小结和讨论.....	114
习题和思考题.....	114
电路分析综合复习题.....	116

第二部分 模拟电路基础

第 4 章 半导体二极管及其应用..... 117

4.1 半导体基础知识.....	117
4.1.1 本征半导体.....	117
4.1.2 本征激发和两种载流子.....	118
4.1.3 杂质半导体.....	118
4.1.4 PN 结.....	120
4.2 半导体二极管.....	123
4.2.1 半导体二极管的结构.....	123
4.2.2 二极管的伏-安特性曲线.....	123
4.2.3 二极管的主要参数.....	124
4.2.4 二极管极性的简易判别法.....	124
4.2.5 二极管的等效电路.....	125
4.3 二极管应用.....	125
4.3.1 二极管整流电路.....	125
4.3.2 桥式整流电路.....	127
4.3.3 倍压整流电路.....	128
4.3.4 限幅电路.....	128
4.3.5 与门电路.....	128
4.4 稳压管.....	129
4.4.1 稳压管的结构和特性曲线.....	129
4.4.2 稳压管的主要参数.....	130
4.4.3 其他类型的二极管.....	131
4.5 小结和讨论.....	132
习题和思考题.....	132

第 5 章 半导体三极管和场效应管及其应用..... 134

5.1 半导体三极管的基本结构.....	134
5.1.1 三极管内部结构.....	134

5.1.2	三极管的电流放大作用	135
5.1.3	三极管的共射特性曲线	137
5.1.4	三极管的主要参数	139
5.2	共发射极电压放大器	141
5.2.1	电路的组成	141
5.2.2	共发射极电路图解分析法	141
5.2.3	微变等效电路分析法	145
5.3	电压放大器工作点的稳定	149
5.3.1	稳定工作点的必要性	149
5.3.2	工作点稳定的典型电路	150
5.3.3	复合管放大电路	152
5.4	共集电极电压放大器	154
5.5	共基极电压放大器	155
5.6	多级放大器	157
5.6.1	阻容耦合电压放大器	157
*5.6.2	共射-共基放大器	158
5.6.3	直接耦合电压放大器	160
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	166
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的频率响应	171
5.8.3	单管共射放大电路的频响特性	173
5.9	场效应管电压放大器	181
5.9.1	结型场效应管	181
5.9.2	绝缘栅型场效应管	185
5.9.3	场效应管主要参数	188
5.9.4	场效应管放大电路	189
5.9.5	场效应管与晶体管的比较	192
5.10	小结和讨论	192
	习题和思考题	193
第 6 章	负反馈放大器	199
6.1	负反馈的基本概念	199
6.1.1	反馈的基本概念和类型	199
6.1.2	反馈的判断	199

6.1.3	反馈放大器的 4 种组态	200
6.2	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	205
6.3	负反馈对放大电路性能的改善	211
6.3.1	稳定放大倍数	211
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	213
6.4	小结和讨论	214
	习题和思考题	215
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	219
7.3	集成运放电路简介和理想运放的参数	220
7.3.1	集成运放电路简介	220
7.3.2	集成运放电路的主要参数	221
7.4	理想集成运放电路的参数和工作区	223
7.4.1	理想运放电路的性能指标	223
7.4.2	理想运放电路在不同工作区的特征	223
7.5	基本运算电路	225
7.5.1	比例运算电路	225
7.5.2	加减运算电路	230
7.5.3	积分和微分运算电路	233
7.5.4	对数和指数（反对数）运算电路	234
7.5.5	乘法和除法运算电路	235
7.6	有源滤波器	240
7.6.1	有源低通滤波器	240
7.6.2	其他形式的滤波电路	246
7.7	小结与讨论	254
	习题和思考题	255
第 8 章	波形产生和变换电路	260
8.1	正弦波产生电路	260
8.1.1	正弦波产生电路的组成	260

8.1.2	RC 正弦波振荡电路	261
8.1.3	LC 正弦波振荡器	263
8.1.4	石英晶体正弦波振荡电路	267
8.2	电压比较器	269
8.2.1	电压比较器的电压传输特性	269
8.2.2	单门限电压比较器	270
8.2.3	滞回电压比较器	271
8.2.4	窗口电压比较器	274
8.3	非正弦波信号发生电路	275
8.3.1	矩形波信号发生电路	275
8.3.2	三角波信号发生电路	277
8.3.3	锯齿波信号发生器	279
*8.4	锁相环电路及其应用	280
*8.4.1	锁相环的组成和工作原理	280
*8.4.2	锁相环的应用	281
8.5	小结与讨论	283
	习题和思考题	284
第 9 章	功率放大器	287
9.1	功率放大器的特点	287
9.1.1	功率放大电路的特殊问题	287
9.1.2	功率放大器的工作状态	288
9.2	乙类互补对称功率放大器	290
9.2.1	OCL 功放电路的组成	290
9.2.2	交越失真的消除方法	291
9.2.3	OCL 功放电路晶体管的选择	291
9.2.4	OTL 功放电路的组成和工作原理	293
9.3	集成功率放大电路	294
9.3.1	DG4100 型集成功率放大器的内部结构	294
9.3.2	DG4100 型集成功率放大器的使用方法	295
9.4	小结和讨论	295
	习题和思考题	296
第 10 章	直流稳压电源	297
10.1	直流稳压电源的组成	297
10.1.1	直流稳压电源的组成框图	297
10.1.2	串联型稳压电源电路	297
10.1.3	稳压电源的主要指标	300
10.2	串联型集成稳压电路	300

10.2.1 串联型集成稳压电路的组成.....	300
10.2.2 三端稳压器的基本应用电路.....	301
10.3 小结和讨论.....	302
习题和思考题.....	302
模拟电子电路期末练习题.....	303
附录 A 模拟电子电路读图常识.....	306
附录 B 三极管共射 h 参数等效模型.....	309
附录 C Multisim 软件使用简介.....	311
C.1 Multisim 的窗口界面.....	311
C.2 电路的建立与仿真实例.....	312
C.2.1 模拟电路的建立.....	312
C.2.2 RC 低通滤波器频响特性的测试.....	315
C.2.3 小信号共发射极电压放大器电路设计仿真.....	316
C.2.4 RC 正弦波信号发生器的仿真.....	318
附录 D MATLAB 语言使用简介.....	320
D.1 MATLAB 语言的特点.....	320
D.2 MATLAB 的运行界面.....	320
D.3 用 MATLAB 解矩阵的实例.....	322
参考文献.....	327

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 引言

1.1.1 电子电路基础课程研究的问题

电子技术是 19 世纪末发展起来的一门新兴学科，在 20 世纪取得了惊人的进步。同时也带动了其他高新技术的飞速发展，进一步促进了工业、农业、科技、国防以及社会生活等领域发生了令人瞩目的变革。

进入 21 世纪以来，随着信息时代的到来，作为信息时代发展支撑的电子技术得到了进一步的发展。

电子电路基础是介绍电子技术基本理论的一门专业基础课。课程研究的内容是：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。在电子电路中，将幅度的变化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都是模拟信号；将幅度的变化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图形如图 1-1 所示。

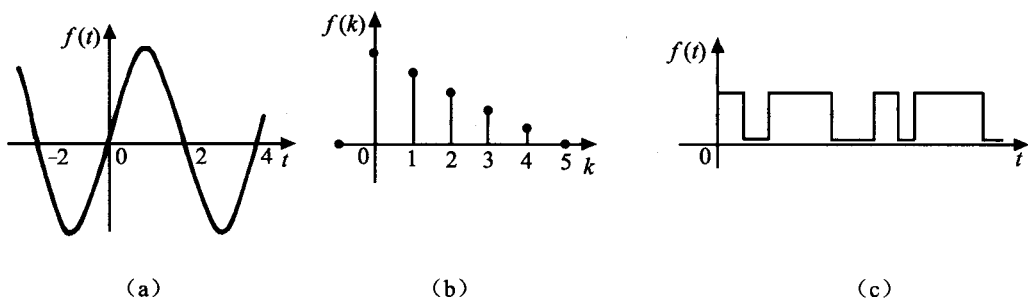


图 1-1 模拟信号和数字信号的示意图

图 1-1 (a) 是模拟信号的波形，图 1-1 (b) 是数字信号的函数图形，图 1-1 (c) 是数字信号在电路中所出现的波形。

在电子电路课程中，将处理模拟信号的电路称为模拟电路；将处理数字信号的电路称为数字电路。本课程的主要任务是：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

将多个电器设备或元器件，按其所要完成的功能用一定的方式连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。

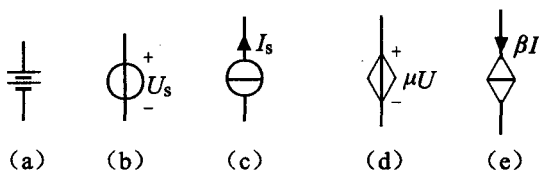
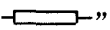


图 1-2 电路中常用的各种电源的符号

图1-2(a)和图1-2(b)是电压源的符号，图1-2(c)是电流源的符号，图1-2(d)是受控电压源的符号，图1-2(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，若按实际电气元件来做电路图将比较困难和复杂，因此，在分析和计算实际电路时必须用理想的电路元件及其组合来近似代替实际电气元件所组成的实际电路。这种由理想元件所组成的与实际电气元件相对应，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。

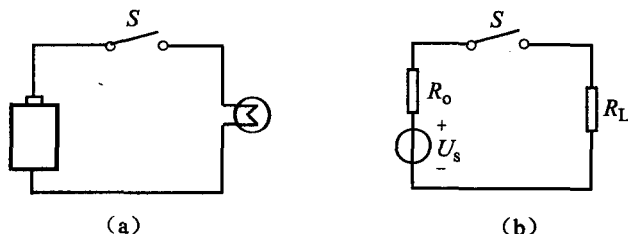


图 1-3 手电筒的实际电路和模型电路

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：一是进行能量的传输或转换，如照明和动力电路等；二是进行信号的传递和处理，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，用英文字母 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的字母来表示，随时间变化的物理量用小写的字母来表示，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 (μA) 来表示，它们之间的换算关系为

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

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做功能力的大小，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 点时，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“+”表示，而用“-”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

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

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，电场力作了 1 焦耳的功。

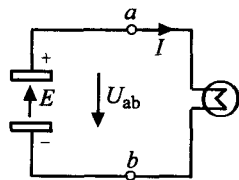


图 1-4 电压和电动势方向的示意图

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，直到中断。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，该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 两电极间始终维持在一一定的电位差，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。

非静电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做功，电源的电动势就是表征电源内部非静电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静电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 时所做的功。用公式表示为

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

式中的 Q 是电源内部由非静电力移动的电量， W 是非静电力所做的功。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做功能力大小的物理量。在电源内部，非静电力将正电荷从电源负极移到正极做功，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做功，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，对外做功，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，在电源内部非静电力做功，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，电场力做功，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，电动势的作用使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，即电位降低的方向。

4. 电位

电位又称电势，它是描述电场中某一点与零电位参考点之间电位差的物理量。计算电场中某一点（例如 a 点）电位的方法是：先指定电场中的一个点（例如 b 点）为参考点，用符号“ \perp ”来表示，并规定参考点的电位为零。电路中任一点与参考点之间的电压就是该点的电位。

电位是电路分析中的重要概念，在电子电路中，常用电位的概念来分析电路中元件的工作状态。应用电位的概念还可以简化电路图的画法，便于分析计算，如图 1-5 所示。

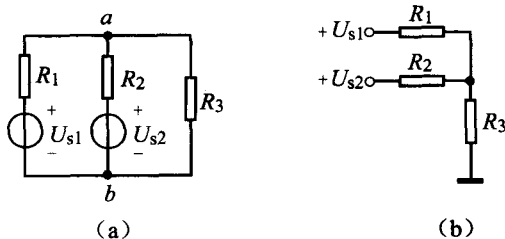


图 1-5 同一个电路不同的画法

图 1-5 (a) 是电路经典的画法, 也是读者比较熟悉的画法; 图 1-5 (b) 是以 b 点为零电位点的画法。图 (b) 的画法是后续课程中常用的画法, 希望读者能熟练地掌握这两种画法之间的转换关系。

5. 电荷

电荷是物质的一种属性。它描述了带电荷的物体具有吸引轻小物体的性质。电荷在电路分析的课程中用符号 Q 表示。某带电体在 t 时刻所带的电荷量 $q(t)$ 为

$$q(t) = \int_0^t i(t) dt + q(0) \quad (1-7)$$

电路中用来储存电荷的容器称为电容器, 在物理课中已知, 电容器由电介质隔开的两金属电极片组成, 电容器在电路中常用的符号是 “ $\text{—}\text{—}\text{—}$ ”。

表征电容器性质的物理量称为电容器的电容, 用字母 C 来表示。电容 C 的定义为: 电容器上所储存的电荷量 Q 与两极板的电位差 U_{ab} 之比, 即

$$C = \frac{Q}{U_{ab}} \quad (1-8)$$

电容在国际单位制中的单位为法拉 (F), 法拉的单位太大了, 在电子电路课程中常接触到的电容单位为微法拉 (μF) 和微微法拉 (pF), 它们之间的换算关系为

$$1\text{F} = 10^6 \mu\text{F} = 10^{12} \text{pF}$$

电容器中所储存的电能 W_C 为

$$W_C = \frac{1}{2} CU^2 \quad (1-9)$$

式中的 U 是电容器两极板之间的电压。

6. 电感

在物理学中已知, 将导线绕制成 N 匝螺线管, 就构成一个电感线圈。没有铁磁物质的线圈称为线性电感线圈, 线性电感线圈通常用符号 “ $\text{—}\text{—}\text{—}$ ” 来表示。

当线圈中通有电流 I 时, 线圈内部就会产生磁通 Φ 。对于 N 匝线圈, 乘积 $N\Phi$ 称为线圈的磁通匝链数, 简称磁链, 用字母 Ψ 来表示。线性电感线圈的磁链 Ψ 与流过线圈中的电流 I 成正比的关系, 其比值为

$$L = \frac{\Psi}{I} = \frac{N\Phi}{I} \quad (1-10)$$

式中的 L 称为自感系数, 简称电感。它是表征线圈性质的物理量, 表示单位电流在线圈中所产生磁链数的大小。在国际单位制中, 电感的单位用亨利 (H)。在电子电路课程中

经常接触到的电感单位是毫亨 (mH)、微亨 (μH), 它们之间的换算关系为

$$1\text{H}=10^3\text{mH}=10^6\mu\text{H}$$

电感线圈在电路中也是一个储能元件, 电感线圈内所储存的电能 W_L 为

$$W_L = \frac{1}{2}LI^2 \quad (1-11)$$

1.1.4 电流、电压和电动势的参考方向

中学物理在分析和计算电路问题的时候, 电流、电压和电动势的方向是统一约定的。即电流 I 在外电路中从电源的正极出发, 流向负极; 在内电路中从电源的负极出发, 流向正极。电压 U 的方向是从电源的正极指向负极, 电动势 E 的方向是从电源的负极指向正极。这种约定的方向与电路中电流、电压和电动势的实际方向一致, 这在分析、计算简单电路 (单电源电路) 的问题时是可行的, 但在分析、计算复杂电路 (多电源电路) 的问题时却有困难。

在分析和计算复杂电路问题的时候, 电路中电流和电压的实际方向往往事先无法确定, 在电流、电压的方向无法确定的情况下, 没有办法对电路进行分析和计算。为了解决这一问题, 引入了电流、电压和电动势参考方向的概念。

所谓电流、电压和电动势的参考方向指的是: 在分析和计算复杂电路的问题之前, 为了分析和计算的需要而假设的电流、电压和电动势的方向, 这些方向通常用箭头表示, 如图 1-6 所示。

图 1-6 中 I_1 、 I_2 和 I_3 旁边的箭头表示电流 I_1 、 I_2 和 I_3 的参考方向, U_1 、 U_2 和 U_3 旁边的箭头表示电阻 R_1 、 R_2 和 R_3 两端电压的参考方向, E_1 和 E_2 表示电源 1 和 2 电动势的参考方向。

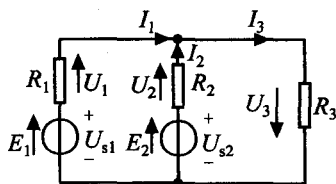


图 1-6 电压和电流的参考方向

参考方向的假设是任意的, 任意假设的参考方向与电流、电压和电动势的实际方向之间存在着差别。这种差别体现在, 在某些电路中参考方向与实际的方向一致; 而在另一些电路中, 参考方向与实际的方向则相反。但不论属于哪种情况, 都不会影响电路分析和计算结论的正确性。这是因为按参考方向求解得出的电压和电流的值有大于零和小于零两种可能。大于零, 为正值, 说明该参考方向与实际的方向一致; 小于零, 为负值, 说明该参考方向与实际的方向相反。

顺便指出, 在进行电路分析和计算的时候, 在没有标明电流或电压的参考方向的前提下, 讨论电流或电压的正、负值是没有意义的。

电压的参考方向除了用箭头表示之外, 还可以用正、负号或下标 ab 等来表示, 如图 1-7 所示。

图中的符号 U_{ab} 、 U_{bc} 不仅表示电压 U_{ab} 、 U_{bc} 值的大小, 也表示该电压的参考方向是从 a 指向 b , 从 b 指向 c 。

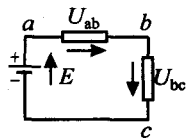


图 1-7 电压的参考方向

在用电位表示电路中某一点的电压值时, 该电压的参考方向是确定的, 都是从该点指向零电位点。