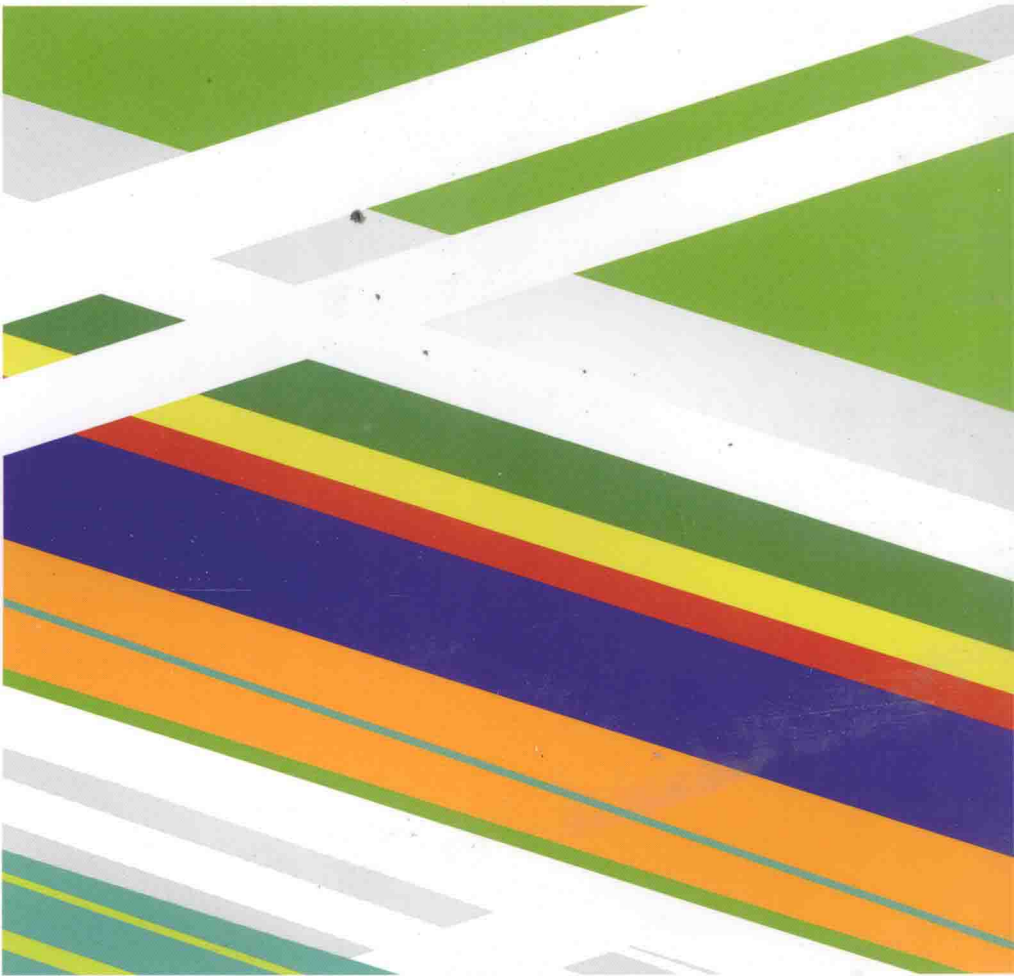




电 工 技 术

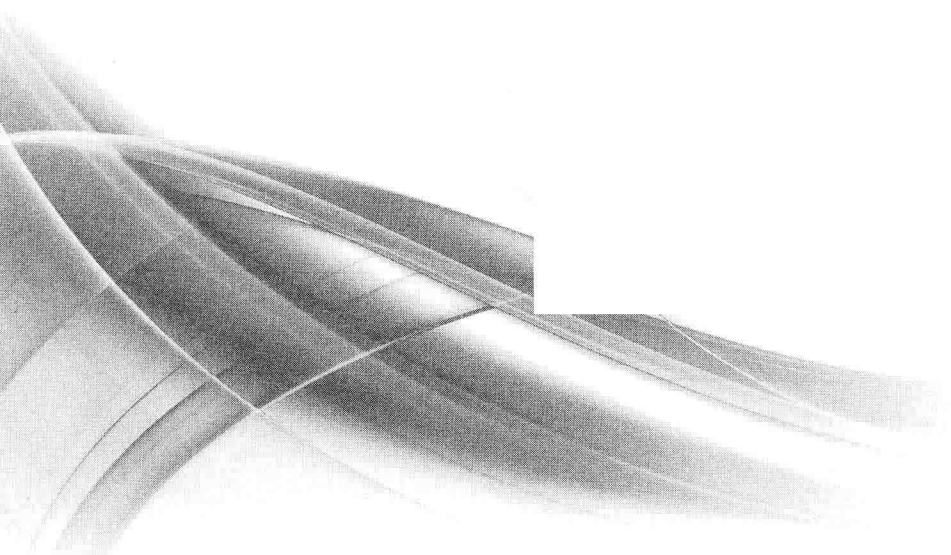
主编 刘艳

 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

电工技术

主 编 刘 艳

副主编 张家亮



 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书是根据当前教学改革形势编写的。全书共分 10 章, 主要内容有: 电路模型和电路定律、电阻电路的一般分析、一阶电路的时域分析、正弦稳态电路的分析、三相电路的分析、变压器、交流电动机、继电器接触器控制系统、可编程控制器的分析、安全用电等内容。本书的各章均附有习题, 并且编有配套电子课件。本书可作为高等院校工科非电类专业课程的教材, 也可供社会读者阅读。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

电工技术 / 刘艳主编. —北京: 北京理工大学出版社, 2015. 8
ISBN 978-7-5682-1041-6

I. ①电… II. ①刘… III. ①电工技术 IV. ①TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 190231 号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

(010) 82562903 (教材售后服务热线)

(010) 68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京富达印务有限公司

开 本 / 787 毫米×1092 毫米 1/16

印 张 / 16

字 数 / 388 千字

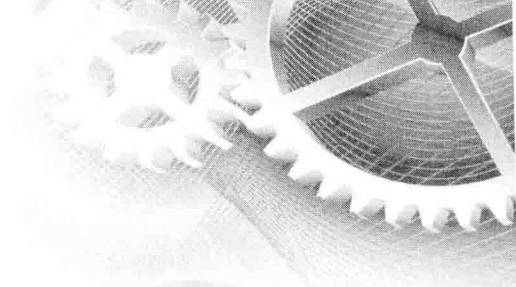
版 次 / 2015 年 8 月第 1 版 2015 年 8 月第 1 次印刷

定 价 / 42.00 元

责任编辑 / 周艳红

责任印制 / 李志强

图书出现印装质量问题, 请拨打售后服务热线, 本社负责调换



前言

Qianyan

现代科学技术飞速发展，日新月异，电工技术和电子技术作为现代科学技术的基础学科，本身已发生了巨大的变化，新技术、新器件、新应用不断出现。为了培育面向现代化，适合社会发展的各行各业人才，电工电子技术已成为高等院校学生，特别是工科学生的一门必修的基础课。

“电工技术”是非电专业的一门重要技术基础课程，旨在为学生的专业课程学习和以后从事工程技术工作打好电学理论基础，进行基本技能的训练。但各校的具体情况有所不同，对该课程的要求也不尽相同。本书在总结多年的教学经验和教学改革的基础上，结合当今高校的普遍教学实际编写而成。

本书中采用的图形和文字符号一律遵照国家标准。参加本书编写的有张家亮（第1、2、3、8、10章）和刘艳（第4、5、6、7、9章）。

本书经顾宏林副教授仔细审阅，提出了宝贵的修改建议，在此表示衷心的感谢。

由于编者能力有限，加之时间比较仓促，书中错误和不妥之处在所难免，希望使用本书的师生和读者给予批评指正。

编 者

前 言

绪 论	1
第 1 章 电路的基本概念及基本定律	2
1.1 电路的组成及电路模型	2
1.1.1 电路的组成	2
1.1.2 电路模型	3
1.1.3 激励和响应	3
1.2 电路中的物理量	3
1.2.1 电压 U	4
1.2.2 电位 V	4
1.2.3 电流 I	5
1.2.4 电源的电动势 E	6
1.2.5 电功率 P	6
1.3 参考方向与欧姆定律	7
1.3.1 参考方向	7
1.3.2 一致参考方向与非一致参考方向	7
1.3.3 欧姆定律	8
1.4 电源在电路中的状态	9
1.4.1 有载状态	9
1.4.2 开路状态	11
1.4.3 短路状态	12
1.4.4 负载电流与电压的测量	12
1.5 基尔霍夫定律	13
1.5.1 基尔霍夫电流定律	13
1.5.2 基尔霍夫电压定律	14
1.6 电阻的连接方式及其等效电阻	17
1.6.1 电阻的串联	17
1.6.2 电阻的并联	17



1.6.3 电阻的星形联结、三角形联结及两者间的等效变换	20
第2章 电路分析方法	26
2.1 电压源、电流源及其等效变换	26
2.1.1 理想电压源	26
2.1.2 理想电流源	26
2.1.3 实际电源的两种电路模型及其等效变换	27
2.1.4 替代定律	28
2.1.5 受控源	29
2.2 支路电流法	30
2.2.1 支路电流法	30
2.2.2 电桥	31
2.3 节点电压法	32
2.4 叠加原理	35
2.4.1 线性电路	35
2.4.2 叠加原理	35
2.5 戴维南定理和诺顿定理	38
2.5.1 戴维南定理	38
2.5.2 戴维南定理的证明	40
2.5.3 诺顿定理	41
第3章 一阶线性电路的暂态分析	46
3.1 电感元件和电容元件	46
3.1.1 电感元件	46
3.1.2 电容元件	47
3.2 储能元件的初态与稳态	49
3.2.1 换路定则	49
3.2.2 稳态	50
3.3 一阶RC电路的响应	53
3.3.1 一阶RC电路的全响应	53
3.3.2 RC电路的零状态响应	56
3.3.3 RC电路的零输入响应	56
3.4 一阶RL电路的响应	58
3.4.1 一阶RL电路的全响应	58
3.4.2 一阶RL电路的零状态响应和零输入响应	61
3.4.3 电感元件从电源断开时的处理	62
3.5 一阶线性电路暂态分析的三要素法	63
第4章 交流电路	71
4.1 正弦电压和电流	71
4.1.1 正弦电动势的产生	71



4.1.2	正弦量的特征值	72
4.1.3	相位差	73
4.1.4	交流电压、电流的参考方向	74
4.2	正弦量的相量表示法	74
4.2.1	相量	76
4.2.2	复数	77
4.2.3	相量图	77
4.3	阻抗及阻抗的串联与并联	78
4.3.1	阻抗 Z	78
4.3.2	交流电路的分析方法	79
4.3.3	阻抗的串联与并联	81
4.3.4	复杂交流电路的分析	83
4.4	单一元件的交流电路	85
4.4.1	纯电阻电路	85
4.4.2	纯电感电路	86
4.4.3	纯电容电路	88
4.5	RL 、 RC 和 RLC 串联电路	91
4.5.1	RL 串联电路	91
4.5.2	RC 串联电路	93
4.5.3	RLC 串联电路	94
4.5.4	RLC 串联电路的谐振	96
4.5.5	交流电路的功率计算	97
4.5.6	RC 电路的移相作用	99
4.6	功率因数	101
4.6.1	功率因数低引起的问题	101
4.6.2	功率因数的提高	101
4.6.3	功率表	103
4.7	非正弦周期变化电源电路的分析	104
4.7.1	电源包含几个频率成分的处理方法	104
4.7.2	电源为非正弦周期信号的处理	106
第5章	三相交流电路	111
5.1	三相电源	111
5.1.1	三相交流发电机的工作原理	111
5.1.2	三相对称电动势	112
5.1.3	星形联结的三相电源	112
5.1.4	三角形联结的三相电源	114
5.2	三相负载的星形联结和三角形联结	115
5.2.1	负载的星形联结	115

5.2.2 负载的三角形联结	118
5.2.3 对称负载的星形-三角形变换	120
5.3 三相电路的功率计算和测量	121
5.3.1 三相电路的功率计算	121
5.3.2 三相电容的连接	123
5.3.3 三相功率的测量	123
第6章 变压器	127
6.1 变压器的分类与基本结构	127
6.1.1 变压器的分类	127
6.1.2 变压器的基本结构	127
6.2 磁场的基本物理量和磁性材料	129
6.2.1 磁场的基本物理量	129
6.2.2 磁性材料的磁性能	130
6.3 变压器的基本工作原理	131
6.3.1 变压器空载运行	131
6.3.2 变压器有载运行	133
6.3.3 变压器的额定容量	136
6.4 变压器的损耗与效率	136
6.5 变压器的极性与连接	137
6.6 三相变压器	139
6.6.1 三相变压器的磁路系统	139
6.6.2 三相变压器的绕组与连接	139
6.6.3 三相变压器的容量	140
6.7 自耦变压器和仪用互感器	141
6.7.1 自耦变压器	141
6.7.2 互感器	141
6.8 电磁铁	142
第7章 交流电动机	146
7.1 三相异步电动机的基本结构	146
7.1.1 主要部件	146
7.1.2 外形结构	148
7.2 三相异步电动机的工作原理	148
7.2.1 旋转磁场	148
7.2.2 转子的转动原理	151
7.2.3 转矩与功率的关系	152
7.3 三相异步电动机的电路分析	153
7.3.1 定子电路	153
7.3.2 转子电路	154

7.4 三相异步电动机的转矩与机械特性	156
7.4.1 转矩公式	156
7.4.2 机械特性曲线	156
7.5 三相异步电动机的起动	159
7.5.1 起动性能	159
7.5.2 起动方法	160
7.6 三相异步电动机的调速与制动	163
7.6.1 三相异步电动机的调速	163
7.6.2 三相异步电动机的制动	164
7.7 三相异步电动机的铭牌数据	165
7.8 电动机的选择	168
7.9 单相异步电动机	168
7.9.1 电容分相式异步电动机	169
7.9.2 罩极式异步电动机	169
第8章 继电器接触器控制系统	172
8.1 常用低压开关电器及继电器	172
8.1.1 真空断路器	172
8.1.2 刀开关	172
8.1.3 熔断器	173
8.1.4 交流接触器	175
8.1.5 按钮和行程开关	175
8.1.6 继电器	177
8.2 电动机的直接起动控制与正、反转控制	179
8.2.1 控制线路	179
8.2.2 直接起动控制线路	181
8.2.3 正、反转控制线路	182
8.3 电动机时间控制与行程控制	183
8.3.1 时间控制线路	183
8.3.2 行程控制线路	185
8.4 电动机制动控制	185
8.4.1 能耗制动控制线路	185
8.4.2 反接制动控制线路	186
8.5 控制线路的保护功能	187
8.5.1 短路保护	188
8.5.2 过载保护	188
8.5.3 过电流保护	188
8.5.4 零电压与欠电压保护	189
8.5.5 弱磁保护	189

第 9 章 可编程控制器	192
9.1 可编程控制器概述	192
9.1.1 可编程控制器的发展	192
9.1.2 可编程控制器的结构	192
9.1.3 可编程控制器的工作方式	193
9.2 可编程控制器的编程方式及编程元件	194
9.2.1 可编程控制器的编程方式	194
9.2.2 可编程控制器的内部编程元件	195
9.3 F-40M 的指令系统	198
9.3.1 输入、输出指令	198
9.3.2 与指令	199
9.3.3 或指令	199
9.3.4 块电路或指令	199
9.3.5 块电路与指令	200
9.3.6 复位指令	201
9.3.7 脉冲指令	202
9.3.8 位移指令	203
9.3.9 保持指令	203
9.3.10 主控指令	204
9.3.11 跳步指令（转移指令）	204
9.3.12 结束指令	206
9.3.13 空操作指令	206
9.4 可编程控制器控制电路的程序设计方法	208
9.4.1 梯形图的特点	208
9.4.2 梯形图绘制原则	208
9.4.3 输入、输出接线图	209
9.5 几种常用基本电路的 PLC 控制	210
9.5.1 定时器扩展的两种方法	211
9.5.2 三相笼型电动机的正、反转控制	212
9.5.3 控制三角形联结电动机正、反转且具有星形-三角形减压起动功能	213
9.5.4 花式喷水的 PLC 控制	213
第 10 章 供电与安全用电	217
10.1 发电和输电概述	217
10.1.1 发电	217
10.1.2 输电	219
10.2 工业企业配电	220
10.2.1 配电系统	220
10.2.2 配电系统的接线	220



10.3 安全用电	222
10.3.1 电流对人体的危害	222
10.3.2 触电方式	222
10.3.3 接地和接零	223
10.3.4 电气防火防爆	226
10.3.5 静电的防护	226
附录	228
附录 A 国际单位制 (SI) 的基本单位	228
附录 B 电路中常用的量的符号和单位	228
附录 C 国际单位制 (SI) 的词头	229
附录 D 常用导电材料的电阻率	229
附录 E 部分习题参考答案	230
参考文献	238

绪 论

电工技术是分析电能的传输、转换并研究各种电气设备及其控制的学科。由于电能具有易于传输、易于转换、易于控制的优点,因而电力在工农业生产、国防建设、医疗卫生、环保及人们的日常生活中得到广泛的应用。随着科学技术的不断进步,电工技术飞速发展,并迅速渗透到其他各个学科领域。现代科学技术无不与电有着密切的联系,电工技术在我国经济建设和国防建设中起着越来越重要的作用。

由于非电领域各学科均与电力、电动设备、电子设备、安全用电密不可分,因而非电专业的工程技术人员和科研人员必须掌握必备的电工知识,电工技术课程当然也就成为工科非电专业的重要基础课。电工技术这门课程主要为非电专业学生学习后续与电相关的课程打基础,为学生毕业后从事与电有关的工作打基础,更为学生的自学、深造打基础,拓宽学生的创新能力。

电工技术是一门实践性很强的技术基础课程。工地要装一台卷扬机,应选什么型号的电动机?要装多大的熔断器?电灯不亮了,但用测电笔测量时,电路处处“有火”(氖泡亮),问题出在哪里呢?某天晚上,某栋楼的家用电器都烧坏了,是什么原因造成的呢?如何解决?大量的事例说明了电工技术的实用性,电工技术无处不在。对于未来将管理生产、负责安全甚至做总负责的大学生,将会面临许许多多的实际问题,其中大量的问题会与电相关。掌握电工技术,对遇到的与电相关的问题能进行分析、研究,并加以解决是非常重要的。为了光明的未来,非电专业的大学生一定要学好电工技术这门课程。

本书包括电路、变压器与异步电动机、控制电路与安全用电、附录几个部分。电路部分讲述电路元器件性质、电路基本定律,并介绍了分析计算电路的基本方法,这一部分是电工技术的基础理论;变压器与异步电动机部分介绍了它们的结构、工作原理及使用;控制电路部分介绍了常用低压电器、继电器接触器控制系统的典型电路及工作原理,可编程控制器的工作原理及编程方法;安全用电部分介绍了必要的安全用电常识;附录部分给出了电工技术中一些常用的符号、单位、参数,以及部分习题参考答案。

课堂的教学是获取知识的最快、最有效的方式。有的同学认为电压、电流、欧姆定律早在中学就已经学过,只要翻翻书回忆一下就行,这是常见而又糟糕的毛病。学习中一定要循序渐进、认真听课、勤于思考、踏踏实实、刻苦专研,要抓住基本物理概念、基本理论、分析方法;要理解问题的提出和引申、解决和应用。要注意各部分内容的联系,建立完整的系统概念。

电工技术是一门需要加强分析和综合训练的课程,在学习的过程中需要做一定数量的习题。本书每节后都有练习与思考,帮助学生理解本节的概念及基本理论。每章后面都有习题,解题时要读懂题意,看懂电路,找到最正确、最快捷、最简单的分析计算方法。解题过程中,要弄懂理论和公式,要弄清楚解题步骤,千万不要想当然;电路图要标绘清楚电流、电压方向,计算结果标明单位。

实验是电工技术课程的一个重要环节。通过实验可验证所学理论,培养动手能力,培养严谨的科学态度。实验过程中,要勤于动手,勤于动脑,学会使用各种电工、电子的仪器、仪表及设备。实验后要对实验现象进行认真分析,对实验数据进行整理,写出合乎要求的实验报告。

第 1 章 电路的基本概念及基本定律

电器设备种类繁多，但绝大部分由各种各样的基本电路构成。本章主要介绍电路分析中的基本物理量及基本定律。对于这些物理量和定律，我们在中学已有所接触，但在中学阶段仅着重于数值大小的计算。在本章的学习中，不仅要计算各物理量的大小，还要特别注意电流、电压的方向、正负以及功率是发出还是吸收。若不小心，弄错了某个电流或电压的方向或符号，就会导致整个电路分析错误。

本章中分析的虽然是直流电路，但对基本定律和分析方法稍加扩展，也适用于交流电路。

1.1 电路的组成及电路模型

由于电能具有易于传输、分配及转换，并有利于实现自动控制等优点，所以在生产、生活中，往往先将其他形式的能量转换为电能，再经过各种各样的电路加以传输和利用。

图 1-1 的元件一中，两块极板分别带电荷 $+Q$ 和 $-Q$ ，在两极板间就产生电场，并具有了电场能量。合上开关 S ，在电场力的作用下，正极板的电荷通过导线流动到负极板。电荷通过灯泡（元件二）时，受到灯丝的阻力，电场力克服阻力做功。灯丝则吸收电能，并将它转换为热能、光能。当正电荷到达负极板时，正、负电荷中和，电场消失，电流也随之消失。

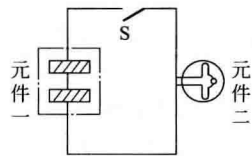


图 1-1 简单照明电路

若把图 1-1 中的元件一做成这样一种装置：在元件一中，用化学力或磁力等非静电力克服电场力，不断地把正电荷从负极板移动到正极板，保持两极板上的 $+Q$ 和 $-Q$ 不变，在图 1-1 中保持一个稳恒的电场，导线和灯丝上就保持了稳定的电流，这样图 1-1 就构成了一个最简单的电流通路。

1.1.1 电路的组成

图 1-1 中，元件一把其他形式的能量转换为电能提供给电路，称为电源。元件二吸收电能，把电能转换为其他形式的能量，称为负载。把电源和负载连接起来的导线、开关等用于传输、分配电能，称为中间环节。电路就是由电源、负载及中间环节 3 部分组成的电流通路。

图 1-2 为电力系统电路的简单示意图。图中发电机是电源，它把热能、水能、风能等其他形式的能量转换为电能，提供给系统；电灯、电动机等是负载，它们吸收电能，并将电能转换为热能、光能、机械能等其他形式的能量；变压器及输电线路等是中间环节，起着传输和分配电能的作用。

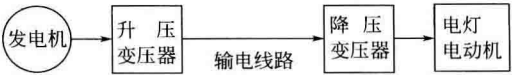


图 1-2 电力系统



1.1.2 电路模型

实际电路是由各种实际元器件以一定的方式连接而成的。为了便于电路的分析与计算，在电路中并不画实际元器件，而是按实际元器件的主要电气特性，将其抽象为理想元器件，按规定的符号画出。这样画出的电路称为实际电路的模型。

灯泡或电炉等元器件的主要特性是对电流产生阻碍，在电荷流经它的过程中吸收电能，并将电能转换为热能。具有这种特性的元件称为电阻，用图 1-3 所示的符号表示。在国际单位制中，电阻的单位是欧 [姆] (Ω)。在电路的分析计算中，也常用千欧 ($k\Omega$) 或兆欧 ($M\Omega$) 为单位。

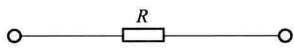


图 1-3 电阻元件

$$1k\Omega = 10^3 \Omega$$

$$1M\Omega = 10^6 \Omega$$

导线有电阻，导线电阻分布在导线的各个部分，但在分析电路时，可把导线看成一个集中电阻 R_L ：

$$R_L = \rho \frac{l}{S} \quad (1-1)$$

式中， l 为导线长度 (m)； S 是导线截面面积 (mm^2)； ρ 是导线材料的电阻率 ($\Omega \cdot mm^2/m$)。

电源是给电路提供电压或电流的元件，可用图 1-4 中的电源模型来表示。图 1-4a 所示给电路提供电压的电源，称为理想电压源；图 1-4b 所示给电路提供电流的电源，称为理想电流源。理想电压源电压恒定，理想电流源电流恒定。

实际电源中，电流从负极流向正极时，非静电力不需要克服电场力，但需要克服电源内部微粒运动产生的阻力。因此，实际电源可抽象为图 1-5a 所示电压源 U_S 与电阻 R_0 串联或图 1-5b 所示电流源 I_S 与电阻 R_0 并联的电路模型。电阻 R_0 为电源的内阻。

灯泡、电炉、导线等在电流通过时，不仅具有电阻，而且也会产生磁场具有电感，但电感很小，通常将它忽略掉。通过对电路的模型化处理，图 1-1 中开关 S 闭合后的实际电路可画为图 1-6 的模型电路。在图 1-6 中，所有连接的导线为理想导线，其电阻为零。理想导线又称为短路线。

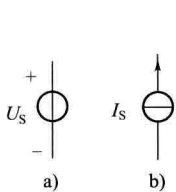


图 1-4 理想电源

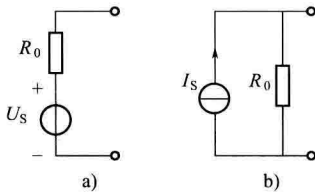


图 1-5 实际电源模型

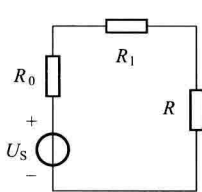


图 1-6 图 1-1 的电路模型

1.1.3 激励和响应

在电路中，提供电能的电源（或信号源）称为电路的激励。在激励下，电路各元器件上产生的电压、电流称为电路对该激励的响应。

1.2 电路中的物理量

对电路进行分析，主要是分析计算各元器件上的电压、电流及功率。对这些物理量，必



须有清楚的认识,分析计算时要注意它们的方向和符号。

1.2.1 电压 U

在电场(电路)中将单位正电荷从 a 点移动到 b 点电场力所做的功称为 a 、 b 两点间的电压 U_{ab} 。

电压的国际单位是伏[特] V , $1V$ 就是 1 焦耳/库仑 (J/C) 。电压的常用单位还有千伏 (kV) 、毫伏 (mV) 等。 $1kV=10^3V$, $1mV=10^{-3}V$ 。

1) 由前述的定义可知

$$U_{ab} = -U_{ba} \quad (1-2)$$

同一个元器件上,方向相反的两个电压互为相反数。如图 1-7 中 R_4 上的电压,若 $U_{ab}=10V$,则 $U_{ba}=-10V$ 。

2) 电场力是保守力。保守力做功与路径无关,因此任意两点间的电压等于这两点间任意路径上的各分段电压之和,即

$$U_{ab} = U_{ac} + U_{cd} + \dots + U_{kb} \quad (1-3)$$

例如,图 1-7 中有

$$U_{ab} = U_{ac} + U_{cd} + U_{df} + U_{fb}$$

$$U_{ab} = U_{ae} + U_{ed} + U_{df} + U_{fb}$$

$$U_{ab} = U_{ac} + U_{ce} + U_{ef} + U_{fb}$$

.....

在电路中求两点间的电压时,注意选择最易于计算的路径。

3) 由于电场力是保守力,故从电路中某点出发,经任一路径将单位正电荷移回到该点,电场力做功为零。即电路中任一回路线(从某点出发后又回到该点的一条路径)所有电压代数和为零。如图 1-7 中有

$$U_{ac} + U_{cd} + U_{de} + U_{ea} = 0$$

$$U_{ae} + U_{ed} + U_{df} + U_{fb} + U_{ba} = 0$$

.....

实际上这就是后面分析电路的基本定律之一——基尔霍夫回路电压定律。

【例 1-1】 在图 1-7 中,已知 $U_{ab}=10V$, $U_{ac}=8V$, $U_{bf}=7V$, 求 U_{cf} 。

解: $U_{cf} = U_{ca} + U_{ab} + U_{bf} = -U_{ac} + U_{ab} + U_{bf} = (-8 + 10 + 7)V = 9V$

1.2.2 电位 V

电场(电路)中某点的电位就是单位正电荷在该点所具有的电位能(电势能)。

单位正电荷在电场(电路)中任一点 A 上,相对于不同的点,其电位不同,故考虑 A 点电位时,一定要指明是相对于某个点 N 的电位,这里的 N 称为参考点。参考点的电位为零。参考点的符号为“ $\perp$ ”,如图 1-7 中 d 点就是参考点。参考点可任意选择,但同一电路中只能有一个参考点,若几个点都标了参考点符号,这些点就是短路线连接起来的同一点。

1) 电路中任一点的电位,就是该点到参考点的电压。如图 1-7 中, d 点为参考点, d 点

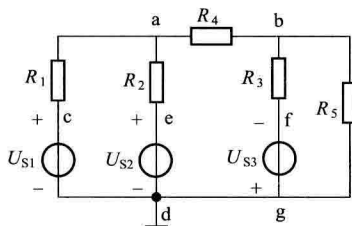


图 1-7 电路中的电压计算

电位 $V_d=0$, a 点电位 $V_a=U_{ad}$, b 点电位 $V_b=U_{bd}$ 。

2) 任意两点间的电压就是这两点的电位差。例如:

$$U_{ab}=V_a-V_b \quad (1-4)$$

这是因为, 若以 O 点为参考点, 则 $V_a=U_{ao}$, $V_b=U_{bo}$, a、b 间的电位差为

$$V_a-V_b=U_{ao}-U_{bo}=U_{ao}+U_{ob}=U_{ab}$$

电压的正值方向(实际方向)是从高电位(+)指向低电位(-)。

3) 参考点改变, 电路中各点的电位均改变, 但各点间的电压不变。在图 1-7 中, 以 d 点为参考点时

$$V_c=U_{S1}, V_e=U_{S2}, V_f=-U_{S3}$$

$$U_{ce}=V_c-V_e=U_{S1}-U_{S2}$$

$$U_{ef}=V_e-V_f=U_{S2}+U_{S3}$$

若以 c 点为参考点时

$V_c=0$, $V_e=U_{S2}-U_{S1}$, $V_f=-U_{S3}-U_{S1}$, 各点电位变了, 但 $U_{ce}=V_c-V_e=U_{S1}-U_{S2}$, $U_{ef}=V_e-V_f=U_{S2}+U_{S3}$, 各点间的电压不变。

【例 1-2】 在某电路中, 以 C 点为参考时 $V_A=3V$, $U_{AB}=-5V$ 。试问: (1) A、B 两点谁的电位高? (2) 若以 B 点为参考点, 求 A、B、C 三点的电位。

解: (1) $V_A-V_B=U_{AB}=-5V$

B 点电位比 A 点电位高 5V。

(2) 以 C 点为参考时 $V_A=3V$, 即 $U_{AC}=3V$ 。以 B 点为参考点时, $V_B=0$, 有

$$V_A=U_{AB}=-5V$$

$$V_C=U_{CB}=U_{CA}+U_{AB}=-3V+(-5)V=-8V$$

4) 电路中若选定了参考点, 则各点电位就确定了。在电路中, 若电源接在某点与参考点之间, 通常可以不画电源, 而是标出该点的电位。

图 1-8a 中的电路可以简化为图 1-8b。在图 1-8b 中虽然没有标出参考点, 但参考点是确定存在的。

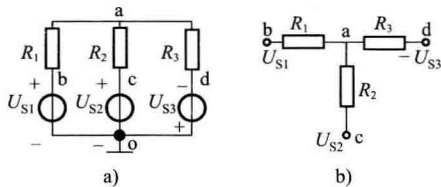


图 1-8 电路的简化

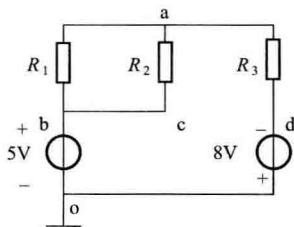


图 1-9 图 1-8b 的等效电路

5) 短路线连接的点是等电位点。图 1-7 中, d 点和 g 点是等电位点, 等电位点可以看成是一个点, 即 d 点就是 g 点。像这种情形, 以后电路中将只标一个字母 d。

电路中有短路线连接的等电位点, 可当作短路线连接成的一个点。如图 1-8b 中, 若 $U_{S1}=U_{S2}=5V$, $U_{S3}=8V$, 实际电路可看作图 1-9。

1.2.3 电流 I

这里的电流 I 指电流强度, 即单位时间内流过导体横截面的电荷量。

$$i = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \quad (1-5)$$

在直流电路中
$$I = \frac{Q}{t} \quad (1-6)$$

电流的国际单位是安[培] A。在电路分析计算中,还常用毫安(mA)和微安(μA)等单位, $1\text{mA}=10^{-3}\text{A}$, $1\mu\text{A}=10^{-6}\text{A}$ 。

在电路分析中,要注意电流的方向。图 1-10 中,电流 I 的正值方向如图所标。在电场力作用下,电流在负载中由高电位(+)流向低电位(-);在非静电力作用下,电流在电源中由低电位(-)流向高电位(+)

图 1-11 为蓄电池的充放电电路。当开关 S 接到 1 位置时,蓄电池 U_{S1} 给负载 R 供电(蓄电池本身放电)。电路中电流 I 的实际方向从电源 U_{S1} 的负极流向正极,这时 U_{S1} 是电源,它发出功率。当开关 S 接到 2 位置时,充电器 U_{S2} 给蓄电池充电。由于 $U_{S2} > U_{S1}$,充电电流 I' 从 U_{S1} 的高电位(+)流向低电位(-),蓄电池 U_{S1} 吸收功率,它是负载。

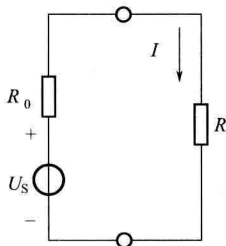


图 1-10 电流方向

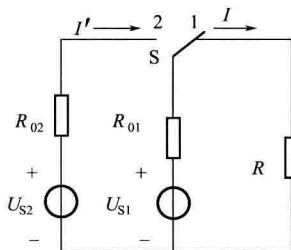


图 1-11 蓄电池的充放电电路

1.2.4 电源的电动势 E

将单位正电荷由电源的负极移动到正极非静电力所做的功称为电源的电动势 E 。

在图 1-12a 中, U 是将单位正电荷由正极移动到负极时电场力所做的功, E 是将单位正电荷由负极移动到正极时非静电力所做的功。由于能量守恒, $U=E$ 。

电压与电动势的方向也可标定如图 1-12b 所示,电压 U 的方向是电源外部电流的方向,从正极“+”指向负极“-”,从高电位到低电位,即电位降低的方向。电动势 E 的方向是电流在电源内部流动的方向,从负极“-”指向正极“+”,是电位升高的方向。

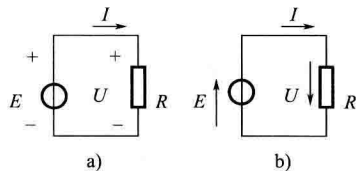


图 1-12 电动势、电压的方向和极性

电路中若元件上的实际电压、电流方向相同,该元件是负载,吸收功率;若元件上的实际电压、电流方向相反,该元件是电源,发出功率。

本书在电路中通常标定电源的极性。极性标定后,电压与电动势的方向也就确定了。

1.2.5 电功率 P

若一元件上的电压为 U ,电荷 Q 通过它时电场力做功为 UQ ,则该元件吸收的功率为

$$P = \frac{UQ}{t} = UI \quad (1-7)$$

式(1-7)中 U 与 I 方向相同。

若按式(1-7)求出 $P > 0$,实际元件为负载,它吸收(消耗)功率;若求出 $P < 0$,实