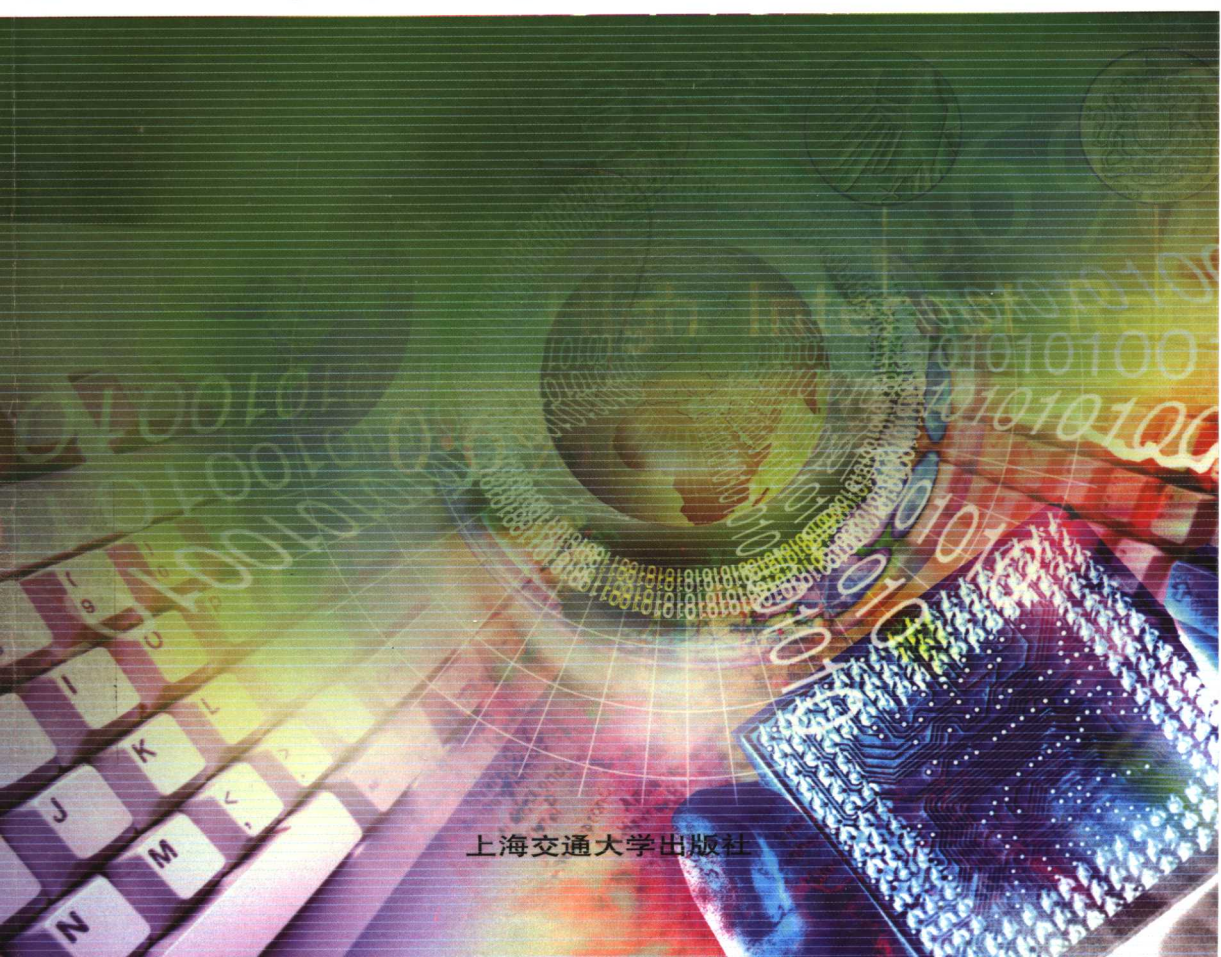


● 21世纪应用型本科教材

电工电子技术

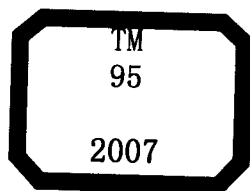
电工技术与计算机仿真

● 王维荣 主编



上海交通大学出版社

21 世纪应用型本科教材



电工电子技术

——电工技术与计算机仿真

王维荣 主编

上海交通大学出版社

内 容 简 介

本书是面向 21 世纪应用型本科教材,是应用型本科人才培养创新教材出版工程规划教材,是根据 1995 年国家教育委员会颁发的高等工业学校“电工技术”(电工学)和“电子技术”(电子学)两门课程的教学基本要求编写的。随着计算机的飞速发展,电工、电子技术与计算机软件技术的结合已成为当前学习电工学的大趋势,因此书中在第 2 章较早地简介了 EWB 仿真软件,并在以后相关章节增加了计算机电路仿真分析设计的内容,以利于学生软硬结合学好电工、电子技术。

本书分两册出版。一册是电工技术与计算机仿真;一册是电子技术与计算机仿真。各章均附有一定的习题,另与黄大勉主编的电工与电子技术实训教材,作为与本书配套的实验指导书,以利于学生理论联系实际。本书可作为高等学校非电类专业上述两门课程的教材,也可供工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电工电子技术. 电工技术与计算机仿真/王维荣主编.
上海: 上海交通大学出版社, 2007
ISBN 7-313-04578-6

I.电... II.王... III.①电工技术-高等学校-教材②电子技术-高等学校-教材③计算机仿真-高等学校-教材 IV.①TM②TN

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第111718号

电工电子技术

—电工技术与计算机仿真

王维荣 主编

上海交通大学出版社出版发行

(上海市番禺路 877 号 邮政编码 200030)

电话: 64071208 出版人: 张天蔚

常熟市文化印刷有限公司印刷 全国新华书店经销

开本: 787mm × 960mm 1/16 印张: 16.75 字数: 315 千字

2007 年 1 月第 1 版 2007 年 1 月第 1 次印刷

印数: 1-3 050

ISBN 7-313-04578-6/TM·128 定价: 24.00 元

版权所有 侵权必究

前 言

本书是 96 学时左右的电工学教材,是从 21 世纪人才培养要求出发,结合我校依托工业办学、产学研结合的教学改革成果,参照 1995 年国家教委颁布的非电类专业“电工技术”、“电子技术”两门课程的教学基本要求编写的。

“电工技术”和“电子技术”是高等学校理工科非电类专业本科学生的一门传统的技术基础课,也是充满改革生气的最有活力的课程。随着 20 世纪 90 年代可编程控制器技术的兴起,进入 21 世纪后许多高校均在电工、电子教材中引入了电子设计自动化(Electronics Design Automation,简称 EDA)技术,为非电类专业的工程技术人才掌握和应用 EDA 技术创造了条件。本书正是在继承传统、面向未来的前提下,根据课程的性质和实际应用情况,对传统的教学内容进行了精选和补充,突出了电工、电子技术的基础性、应用性和先进性,对课程的内容和体系进行了改革。本书以扩大知识面,加强应用性,引入 EDA 技术,结合实验、实训教学和适量的例题、习题为主线,融入电工领域的新技术、新成果以增强教材的创新和特色。考虑到本课程的教学必须与教学方法、教学手段的改革相结合,必须改变过去单纯以传授知识为主的教学观念和方法,必须注重学生的自学能力和创新能力,本书特别在有关章节编写了 EDA 技术的仿真分析,使读者能以计算机为工作平台、以硬件描述语言为电路和器件的设计基础,结合相应的 EDA 开发软件,随心所欲地搭接各种电路,接上相应的虚拟仪表,进行电路的仿真、测试,在计算机上进行预习,加深对课程内容的理解。

本教材分《电工技术与计算机仿真》(内容包括电路的基本理论和分析方法、EDA 基础知识、磁路与变压器、电动机的原理及应用、继电器-接触器控制和可编程控制器(PLC)等)和《电子技术与计算机仿真》(内容包括模拟电子电路、数字电子电路,电路的设计与仿真等)两册,各 48 学时,两学期完成。

参加《电工技术与计算机仿真》编写的有:王维荣(主编)(2、6、7 章),汪关镛(1、3、4 章),黄大勉(5、8、9 章),顾建勤(附录 A),崔红珍(附录 B)。参加《电子技术与计算机仿真》编写的有:范小兰(主编)(10、11、12、13、15、18 章),汪敬华(14 章),王维荣(16、17 章)。赵春锋老师完成了本书所有电路图的编制,何志茛、王艳新、汪敬华、梁艳和张锡民等老师编写了各章节的习题。全书由王维荣、赵春锋统稿,并配全了相关章节的仿真分析。

本书经上海工程技术大学曹林根副教授仔细审阅,提出了修改意见。在此,谨

向以上同志表示衷心的感谢。

由于我们的水平有限,书中错误和不妥之处在所难免,殷切希望使用本教材的广大师生和读者给予批评指正。

编者

2006年5月

目 录

第 1 章 电路的基本概念和分析方法	1
1.1 电路与电路模型	1
1.2 电流、电压、电位	2
1.2.1 电流	2
1.2.2 电压	2
1.2.3 物理量的正方向	3
1.2.4 电位的概念	4
1.3 电功率	5
1.4 电阻元件及欧姆定律	6
1.4.1 电阻	6
1.4.2 欧姆定律	6
1.5 电压源与电流源	7
1.5.1 电压源	7
1.5.2 电流源	8
1.5.3 电压源与电流源的等效变换	8
1.6 基尔霍夫定律	10
1.6.1 基尔霍夫电流定律(KCL)	11
1.6.2 基尔霍夫电压定律(KVL)	12
1.6.3 关于独立方程的讨论	13
1.7 简单的电阻电路	14
1.7.1 电阻的串联	14
1.7.2 电阻的并联	15
1.8 支路电流法	16
1.9 节点电压法	17
1.10 叠加原理	19
1.11 等效电源定律	20
1.11.1 戴维宁定理	21
1.11.2 诺顿定理	22

1.12	含受控源的电阻电路	23
1.13	仿真实验	25
1.13.1	电位、电压的测定	25
1.13.2	基尔霍夫定律的验证	26
1.13.3	叠加原理的验证	27
1.13.4	验证戴维宁定理	27
	习题	28
第2章	EWB 应用软件入门	32
2.1	EWB 软件简介	32
2.1.1	概述	32
2.1.2	Multisim 软件的基本界面	33
2.1.3	Multisim 软件的设置	35
2.1.4	电路原理图绘制	37
2.2	虚拟仪器的使用与电路分析	43
2.2.1	常用仪器的使用方法	43
2.2.2	Multisim 软件的高级分析功能	48
2.2.3	举例	53
第3章	正弦交流电路	54
3.1	正弦交流电的基本概念	54
3.1.1	瞬时值、幅值和有效值	54
3.1.2	周期、频率和角频率	55
3.1.3	相位、初相位和相位差	56
3.2	正弦交流电的相量表示法	57
3.2.1	相量和正弦量	57
3.2.2	正弦量的相量表示法	58
3.2.3	复数坐标的计算器转换法	59
3.3	电阻、电感和电容元件的正弦交流电路	61
3.3.1	电阻元件的正弦交流电路	61
3.3.2	电感元件的正弦交流电路	62
3.3.3	电容元件的正弦交流电路	65
3.4	电阻、电感与电容元件的串联电路	67
3.5	阻抗的串并联	72

3.5.1	阻抗的串联	72
3.5.2	阻抗的并联	73
3.6	电路中的谐振	77
3.6.1	串联谐振	77
3.6.2	并联谐振	80
3.7	功率因数的提高	82
3.8	RC 电路的频率特性	83
3.9	交流电压和电流有效值的仿真分析	87
3.9.1	目的	87
3.9.2	原理及电路	87
3.9.3	仿真步骤	88
3.10	感抗和容抗的仿真分析	90
3.10.1	目的	90
3.10.2	原理及电路	90
3.10.3	仿真步骤	91
3.11	串联交流电路阻抗的仿真分析	93
3.11.1	目的	93
3.11.2	原理及电路	93
3.11.3	仿真步骤	96
3.12	交流电路的功率和功率因数的仿真分析	97
3.12.1	目的	97
3.12.2	原理及电路	97
3.12.3	仿真步骤	100
	习题	102

第 4 章 三相正弦交流电路 105

4.1	三相电动势的产生	105
4.2	三相电路的分析和计算	108
4.2.1	星形连接的三相负载	108
4.2.2	三角形连接的三相负载	112
4.3	三相电路功率	113
4.4	三相电路仿真实验	114
4.4.1	实验目的	114
4.4.2	实验原理及电路	115

4.4.3 实验内容	115
4.5 三相电路功率的测量	117
4.5.1 实验目的	117
4.5.2 实验原理及电路	117
4.5.3 实验内容	121
习题	121
第5章 一阶线性电路的暂态过程分析	123
5.1 换路定理	123
5.1.1 产生暂态过程的原因	123
5.1.2 换路定理	123
5.1.3 暂态过程中电路初始值与稳态值的确定	124
5.2 RC 电路的暂态过程	125
5.2.1 暂态过程分析	125
5.2.2 暂态过程的三种类型	127
5.2.3 时间常数 τ 的物理意义	129
5.3 一阶线性电路暂态过程的一般求解方法	130
5.4 RC 电路在矩形脉冲激励下的响应	132
5.4.1 由电阻两端输出的 RC 电路	132
5.4.2 由电容两端输出的 RC 电路	134
5.5 RL 电路的暂态过程分析	135
5.6 电容器充电和放电的仿真分析	137
5.6.1 目的	137
5.6.2 原理及电路	137
5.6.3 仿真步骤	138
小结	139
习题	140
第6章 磁路和变压器	144
6.1 磁路的基本物理量和基本性质	144
6.2 铁磁材料的磁性能	145
6.3 磁路的概念及其基本定律	149
6.3.1 磁路	149
6.3.2 磁路的基本定律	149

6.4 铁芯线圈磁路分析	153
6.4.1 直流铁芯线圈电路	153
6.4.2 交流铁芯线圈电路	153
6.5 变压器的工作原理与应用	156
6.5.1 变压器的分类	156
6.5.2 变压器的工作原理	157
6.5.3 变压器的运行特性	161
6.5.4 变压器的使用	162
小结	164
习题	165
第7章 交流电动机	167
7.1 三相异步电动机	167
7.1.1 三相异步电动机的结构	167
7.1.2 三相异步电动机的转动原理	169
7.2 三相异步电动机的电路分析	174
7.2.1 定子电路	175
7.2.2 转子电路	175
7.3 三相异步电动机的电磁转矩和机械特性	176
7.3.1 电磁转矩	176
7.3.2 转矩特性和机械特性	177
7.4 三相异步电动机的铭牌数据	181
7.5 三相异步电动机的使用	184
7.5.1 起动	184
7.5.2 调速	188
7.5.3 制动	189
小结	191
习题	191
第8章 继电器接触器控制电路	193
8.1 常用的控制电器	193
8.1.1 刀开关	193
8.1.2 组合开关	194
8.1.3 按钮	194

8.1.4	断路器	195
8.1.5	熔断器	195
8.1.6	交流接触器	196
8.1.7	中间继电器	197
8.1.8	热继电器	198
8.1.9	时间继电器	199
8.1.10	行程开关	200
8.2	三相异步电动机的基本控制电路	201
8.2.1	直接起动与停止控制	201
8.2.2	正反转控制	202
8.2.3	时间控制	204
8.2.4	行程控制	206
	小结	206
	习题	207
第9章	可编程控制器及其应用	210
9.1	PLC的组成和工作原理	210
9.1.1	PLC的组成和各部分的作用	210
9.1.2	PLC的工作原理	211
9.2	PLC的主要技术指标	212
9.3	PLC程序的编制	213
9.3.1	编程元件	213
9.3.2	编程语言	214
9.3.3	基本指令	215
9.4	程序设计方法	222
9.4.1	编程方法	222
9.4.2	应用举例	223
	小结	228
	习题	229
附录A	工业电力系统与安全用电	231
A.1	电力系统的基本概念	231
A.2	安全用电	233
A.2.1	触电的类型	233

A. 2. 2	保护接地和保护接零	235
A. 2. 3	电气防火和防爆	241
A. 2. 4	静电的防护	241
附录 B	电工测量	242
B. 1	电工测量仪表的分类	242
B. 2	测量误差	243
B. 2. 1	测量误差的表示	244
B. 2. 2	测量误差的分类	245
B. 3	电工测量仪表	245
B. 3. 1	磁电式仪表	246
B. 3. 2	电磁式仪表	247
B. 3. 3	电动式仪表	248
B. 4	电流、电压和功率的测量	249
B. 4. 1	电流的测量	249
B. 4. 2	电压的测量	250
B. 4. 3	功率的测量	251
B. 5	万用表	252
B. 5. 1	磁电式万用表的原理	252
B. 5. 2	万用表的正确使用	253
	习题	253
附录 C	国际单位制(SI)的词头	255
附录 D	常用导电材料的电阻率和电阻温度系数	256

第 1 章 电路的基本概念和分析方法

本章从电路模型入手,介绍组成电路的各种电路元件及其伏安特性;对描述电路的基本物理量——电流、电压和电位等进行了复习,并讨论了电压、电流的参考方向问题;阐述了电路理论中的基本定律——基尔霍夫定律。文中着重以直流电路为例,介绍了分析电路的一些基本方法和定理,主要有支路电流法、节点电压法、叠加原理以及电路的等效变换、戴维宁定理、诺顿定理等。这些方法和定理同样适用于对正弦交流等时变信号电路的分析和计算。故本章内容是学习电工学课程的重要基础。

1.1 电路与电路模型

所谓电路,简单地说就是电流流通的路径。近代技术中利用电路的目的可分为两大类:一类用在电力工程中,用以传输与分配电能;另一类用在电子技术和控制技术中,用以传递各种信息。在这两类应用中,由于电流和电功率的量级相差很大,所以前者通常称为强电技术,后者称为弱电技术。

无论是强电技术或弱电技术,电路的结构形式总是包括电源、负载和中间环节三个组成部分。电源是为电路提供电能的元件,如发电机、蓄电池和电池等;负载是指将电能转换为其他形式能量的元件,如电动机、电炉、电灯等;中间环节是连接电源和负载的部分,如变压器、输电线等,它起传输和分配电能的作用。

在电能的传输和转换、或者信号的传递和处理中,电源或信号源的电压或电流称为激励,它推动电路工作;由激励在电路各部分产生的电压和电流称为响应。所谓电路分析,就是在已知电路的结构和元件参数的条件下,分析电路的激励与响应之间的关系。

人们在实际生产和生活中为了实现某种应用目的,将各种电气设备和器件按一定的方式相互连接,就构成了电路。发电机、电动机、电池、变压器、晶体管、电阻器、电容器等均为电路中常见的器件,它们种类繁多,各具不同的特性和用途。

一个实际电路元件往往呈现多种物理性质,以图 1.1 中的白炽灯为例,它除了具有电阻性外还具有电感性,即当电流通过时还会产生磁场,但由于电感很微小,可以忽略不计,于是通常可以认为它是一个电阻元件。为了便于对各种实际元件进行分析和数学描绘,常采用将其理想化的处理办法,即把它近似地看作理想元

件。例如上述的那个白炽灯,忽略其电感性质后就成为只具备电阻性质的元件了。由理想电路元件所组成的电路就是实际电路的电路模型。图 1.2 就是上述白炽灯电路的电路模型。今后所分析的电路都是指电路模型,它给实际电路的分析和计算带来很大方便,是研究电路问题的常用方法。

在电路图中各种理想电路元件(常简称为电路元件)如电阻元件、电感元件、电容元件和电源元件等都规定用规定的图形符号表示,如图 1.3 所示。

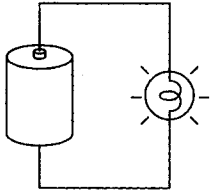


图 1.1 白炽灯电路

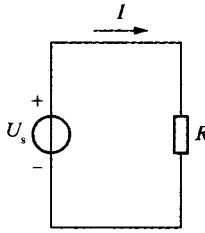


图 1.2 图 1.1 电路模型

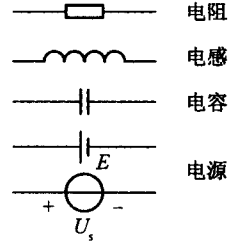


图 1.3 各理想元件的电路符号

1.2 电流、电压、电位

在分析各种电路之前,先来介绍电路中的几个基本物理量包括电流、电压及其相关的概念。

1.2.1 电流

电荷的定向运动形成电流,物理中把正电荷运动的方向规定为电流的方向。在负载中电流的方向总是由高电位流向低电位;在电源中则为从低电位流向高电位。电流的大小为单位时间内通过导体截面积的电量,即

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

式中: q 表示电量或电荷量。

在国际单位制中,时间的单位为秒(s)、电量的单位为库仑(Q)、电流的单位为安培,简称安(A)。常用的电流单位还有千安(kA)、毫安(mA)、微安(μ A)。

不随时间变化的电流称为直流电流,如图 1.2 所示。根据国家标准,直流电流用大写字母 I 表示,随时间变化的电流用小写字母 i 表示。

1.2.2 电压

电压也称电位差(或电势差)。电路中 a 、 b 两点之间的电压 U_{ab} 表示为单位正电荷由 a 点移动到 b 点所需要的能量,即

$$U_{ab} = V_a - V_b = \frac{dW}{dq} \quad (1.2)$$

式中： V_a 表示 a 点电位， V_b 表示 b 点电位， W 表示能量。国际单位制中， W 的单位为焦耳(J)，电压的单位是伏特(V)。常用的电压单位还有千伏(kV)、毫伏(mV)、微伏(μ V)。通常直流电压用大写字母 U 表示。

电压的方向，物理中规定为高电位端指向低电位端，也就是电位降低的方向。电源电动势的方向规定为在电源内部由低电位端指向高电位端，也就是电位升高的方向。

1.2.3 物理量的正方向

电路中电流、电压等基本物理量的正方向分为实际正方向和假设正方向。实际正方向是物理中对电量规定的方向；假设正方向是在分析计算电路时，对电量人为规定的方向，假设正方向又称为参考正方向。

在分析较为复杂的电路时，我们往往很难判断某条支路中电流的实际方向(如图 1.4 中电阻 R 上电流的实际方向)，为此在分析计算电路时，常可任意人为规定某一方向作为电流的参考方向，即电流的假设正方向(简称为正方向)。此人为规定的假设正方向不一定就是电流的实际方向，若计算结果为正，说明该假设正方向与实际方向一致，若计算结果为负，说明假设正方向与实际方向相反。在电路中，电流和电压的假设正方向均可人为为任意设定，两者可以一致，也可以不一致，如果一致，称为关联参考方向，如不一致，称为非关联参考方向，如图 1.5 所示。

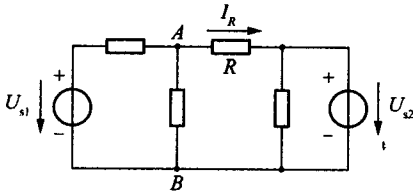


图 1.4 电路举例

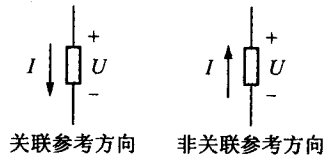


图 1.5 关联与非关联参考方向

电压的正方向一般用正负号或双下标来表示，如图 1.6(a) 所示。图中 a 点的参考极性为正， b 点参考极性为负，以往也用箭头表示，由 a 端指向 b 端，即假设 a 端为高电位端， b 端为低电位端。

电流的正方向是用箭头或双下标表示的，如图 1.6(b) 所示。

本书中以后在分析电路时，若未加特别说明，图中标示的方向均为假设正方向。

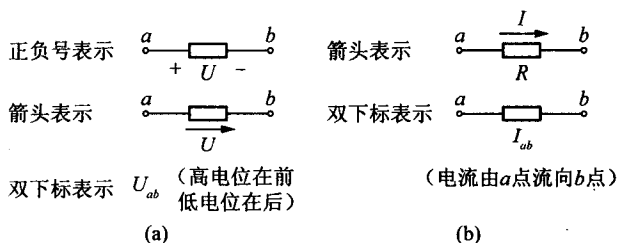


图 1.6 电流方向的表示

(a) 电压正方向表示法; (b) 电流正方向表示法

1.2.4 电位的概念

在分析电路时,常会涉及到对电路中某一点的电位进行计算的问题(尤其在电子线路中),引入电位这一概念会使电路分析简单明了。

如何计算电路中各点的电位呢? 首先必须先选定电路中某一点作为参考点,规定参考点的电位为 0,并用 \perp 表示,称为接地(并非真的与大地相连接),而后电路中其他各点的电位就等于各点与参考点之间的电压。

现以图 1.7 为例,讨论该电路图中各点的电位。首先,如果选定 b 点作为参考点,则

$$V_b = 0, \quad V_a = U_{ab} = 60\text{V}, \quad V_c = U_{cb} = 140\text{V}, \\ V_d = U_{db} = 90\text{V}, \quad U_{ad} = V_a - V_d = -30\text{V}$$

如果选定 a 点作为参考点的话,则

$$V_a = 0, \quad V_b = U_{ba} = -60\text{V}, \quad V_c = U_{ca} = 20\text{V}, \\ V_d = U_{da} = 30\text{V}, \quad U_{ad} = V_a - V_d = -30\text{V}$$

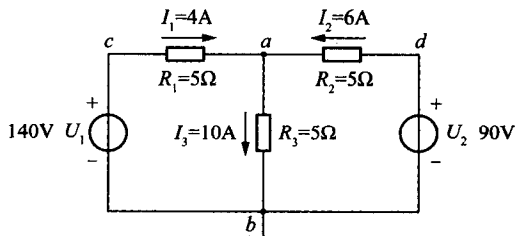


图 1.7 电路举例

由此例可以得出以下结论:

- (1) 电路中某一点的电位等于该点与参考点(电位为 0)之间的电压。
- (2) 电路中各点的电位值是相对值,它是相对于参考点而言的,参考点选得不同,电路中各点的电位也将随之改变。

(3) 电路中每两点间的电压值是绝对的,不会因为参考点的不同而发生改变。

在电子线路中,通常可以不画出电源,各端标以电位值(电源另一端表示接“地”),如图 1.7 电路可以简化为图 1.8 所示电路。

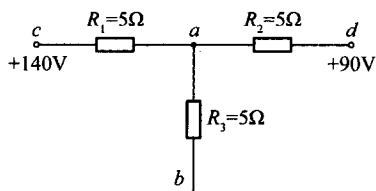


图 1.8 图 1.7 的简化电路

1.3 电功率

在电路中,单位时间内电路元件能量的变化用功率表示,即

$$p = \frac{dw}{dt} \quad (1.3)$$

式中: p 表示功率。国际单位制中,功率的单位是瓦特(W)、千瓦(kW)、毫瓦(mW)等,规定元件 1 秒钟内提供或消耗 1 焦耳能量时的功率为 1W。

将式(1.3)等号右边分子、分母同时乘以 dq ,得

$$p = \frac{dw}{dq} \frac{dq}{dt}$$

于是

$$p = ui \quad (1.4)$$

在直流电路里,这一公式写为

$$P = UI \quad (1.5)$$

在一个电路中,电源产生的功率和负载取用的功率以及电源内阻上所损耗的功率是平衡的。任何电路都遵守能量守恒定律,也就是电路中发生的总功率和消耗的总功率相等,即

$$P_{(\text{吸收})} = P_{(\text{发出})}$$

即

$$\sum P = 0$$

根据电压和电流的实际方向,我们可以判别某一元件是吸收还是发出功率,是电源还是负载:

电源: U 和 I 的实际方向相反,电流从“+”端流出,发出功率。

$$P = UI < 0$$