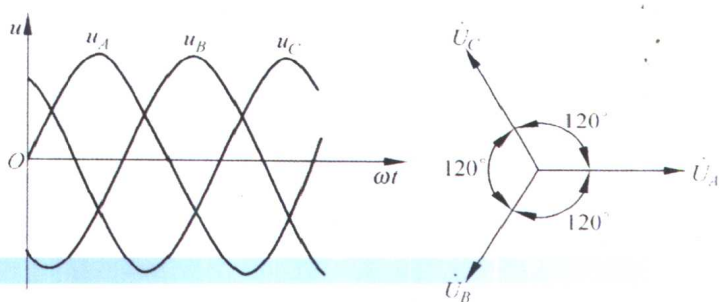


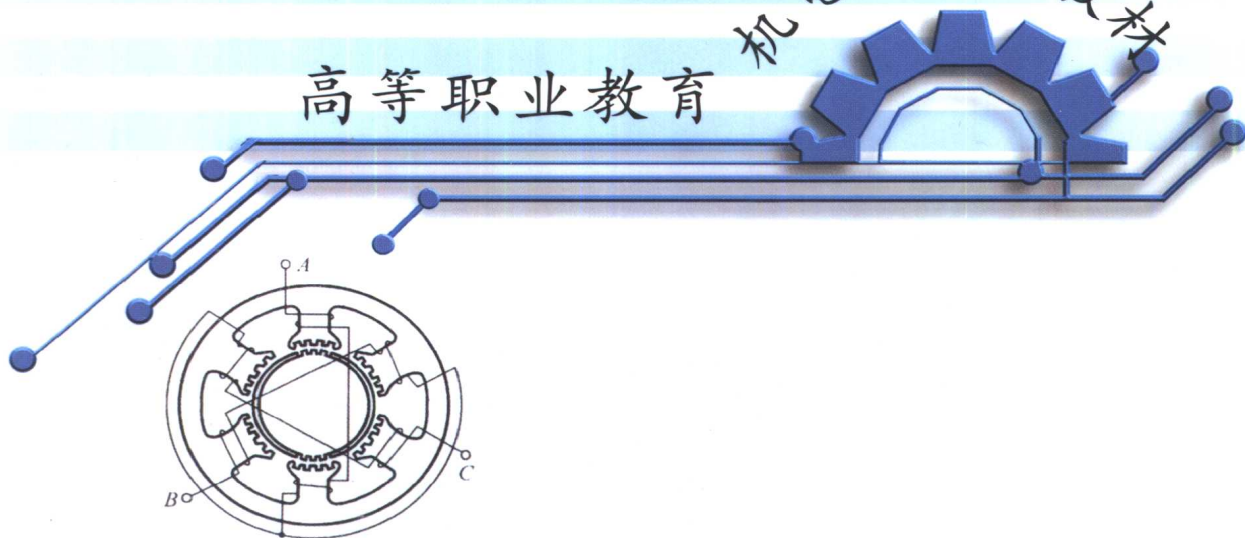


付植桐 主编



电工技术

机电类系列教材
高等职业教育



清华大学出版社

<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>

高等职业教育机电类系列教材

电 工 技 术

付植桐 主 编

王虹 骆方云 张洁 副主编

清华大学出版社

(京)新登字 158 号

内 容 摘 要

本书是参照教育部最新制定的《高职高专教育电工技术课程教学基本要求》编写的。为突出高职、高专的教学特点,编写时在精选基础知识的基础上,突出实践技能的培养。

全书共分 12 章。内容包括电路的基本概念与基本定律,直流电路的分析方法,单相正弦交流电路,三相正弦交流电路,线性电路的暂态分析,供电、照明及安全用电,磁路及变压器,电工仪表及电工测量,异步电动机原理及应用,直流电机原理及应用,特种电机,继电接触器控制系统与 PLC。各章均配有思考题、习题。

本书可作为高等职业院校、高等专科学校、成人高校、本科院校的二级职业技术学院和民办高校的工科类专业的电路部分基础教材,也可供从事电工技术工作的工程技术人员参考或自学。

NA 181/07

书 名: 电工技术

作 者: 付植桐 主编

出版者: 清华大学出版社(北京清华大学学研大厦,邮编 100084)

<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>

印刷者: 北京鑫丰华彩印有限公司

发行者: 新华书店总店北京发行所

开 本: 787×1092 1/16 印张: 19.75 字数: 455 千字

版 次: 2001 年 10 月第 1 版 2001 年 10 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-302-04927-0/TM·35

印 数: 0001~5000

定 价: 24.00 元

前 言

本教材是为适应高等职业教育迅猛发展的需要,根据在深圳召开的高职高专机电类教学改革暨教材建设研讨会精神,并参照教育部最新制定的《高职高专教育电工技术课程教学基本要求》编写的。它着重于在掌握基本知识的基础上,强化操作技能和综合能力的培养,使学生既能看懂电路原理图,有正确选择合适的电路元器件以实现某种功能的能力,又具有查找电路故障和维修的能力。

本教材编写特点:

(1) 以高职高专教育为主线,侧重于培养学生解决实际生产问题的能力。教材编写以应用为目的,以必需、够用为度,精选内容,强调概念,突出能力的培养,并保证全书有一定深度。

(2) 考虑课程的基础性和应用性,教材重点放在电工技术的基本理论和基本分析方法上,同时强化应用,介绍一些常用的机电器件、基本电路及其控制与应用。

(3) 教材内容以工程实践中常用的和推广应用的技术所需的理论基础为主,通过例题来说明理论的实际应用。各章在紧扣基本内容的同时,增加了应用实例,介绍一些实用电路。为了便于教与学,各章后都有小结、思考题和习题,以便学生加深理解,更好地掌握所学知识。

(4) 随着机电一体化技术发展,机和电已不可分割,而机电传动自动化都是由各种控制电机来实现的,教材中加强了特种电机的介绍,以满足后续机电控制类课程的需要。

(5) 在附录中给出的常用电气图形符号及常用电气材料和器件的技术数据,符合最新的国家标准,便于学生学习参考。

本教材是高职高专院校机电类专业、非电类专业学生必修的一门专业技术基础课。通过对本教材的学习,掌握必备的电工技术的基本理论、基本分析方法和基本技能,为后续专业课的学习及今后工作打下良好的理论基础。

本教材由天津职业大学、江汉大学、大连大学、昆明冶金专科学校、广东轻工职业学院、南昌水利水电高等专科学校和陕西工业职业技术学院 7 所院校共同编写,其中付植桐编写第 1 章;康晓明编写第 2、6 章;张洁编写第 3 章;李戎编写第 4 章;刘光明编写第 5 章;骆方云编写第 7、8 章;王虹编写第 9、10 章;张永飞编写第 11 章;黄晓红编写第 12 章。全书由付植桐负责统稿工作,并担任主编。

全书由大连大学朱玫教授主审,她对初稿提出了很多宝贵的意见和建议,并得到了清华大学出版社的大力支持,在此一并表示衷心的感谢。

由于时间紧迫和编者水平所限,书中难免存在一些问题,衷心希望读者批评指正。

编 者

2001年5月于天津职业大学

目 录

前言	I
第 1 章 电路的基本概念与基本定律	1
1.1 电路	1
1.1.1 电路的基本组成及其作用	1
1.1.2 电路的基本物理量	1
1.2 电功率、电能与电流的热效应	5
1.2.1 电功率	5
1.2.2 电能	6
1.2.3 电流的热效应	7
1.3 电路的工作状态	7
1.3.1 有载工作状态及电源的外特性	7
1.3.2 开路	8
1.3.3 短路	8
1.4 电路基本定律	9
1.4.1 欧姆定律	9
1.4.2 克希荷夫定律	10
1.5 电路中各点电位的计算	12
小结	13
思考题	13
习题	14
第 2 章 直流电路的分析方法	17
2.1 电压源与电流源及其等效变换	17
2.1.1 电压源	17
2.1.2 电流源	18
2.1.3 电压源与电流源的特性	18
2.1.4 电压源与电流源的等效变换	19
2.2 支路电流法	22
2.3 节点电位法	23

2.4	叠加原理	24
2.5	等效电源定理	25
2.5.1	戴维南定理	25
2.5.2	诺顿定理	27
2.5.3	负载获得最大功率的条件	28
2.6	含有受控源电路的分析	29
2.6.1	理想受控源	29
2.6.2	含有受控源电路的分析	30
2.7	非线性电阻电路的分析	31
2.7.1	非线性电阻	31
2.7.2	非线性电路	32
	小结	33
	思考题	34
	习题	34
第3章	正弦交流电路	37
3.1	正弦交流电的基本概念	37
3.1.1	交流电概述	37
3.1.2	正弦交流电的三要素	38
3.2	正弦交流电的相量表示法	41
3.2.1	正弦量的相量表示法	41
3.2.2	同频率正弦量的求和运算	42
3.3	单一参数的正弦交流电路	43
3.3.1	电阻元件的正弦交流电路	43
3.3.2	电感元件的正弦交流电路	45
3.3.3	电容元件的正弦交流电路	48
3.4	电阻、电感、电容串联的正弦交流电路	50
3.4.1	电阻、电感、电容串联电路的电压电流关系	51
3.4.2	电阻、电感、电容串联电路的功率	54
3.4.3	阻抗的串联	56
3.4.4	串联谐振	57
3.5	并联正弦交流电路	60
3.5.1	RL与C并联电路的相量分析	60
3.5.2	阻抗的并联	60
3.5.3	并联谐振	61
3.5.4	功率因数的提高	62
	小结	65
	思考题	67

习题	70
第 4 章 三相交流电路	74
4.1 三相电源	74
4.1.1 三相对称电动势的产生	74
4.1.2 三相电源的连接	76
4.2 三相负载	77
4.2.1 三相负载的星形连接	77
4.2.2 三相负载的三角形连接	82
4.3 三相电路的功率	84
小结	86
思考题	87
习题	88
第 5 章 线性电路的暂态分析	91
5.1 换路定则及初始值确定	91
5.1.1 换路定则	92
5.1.2 初始值确定	94
5.2 RC 电路的暂态分析	96
5.2.1 RC 电路的零输入响应	96
5.2.2 RC 电路的零状态响应	99
5.3 RL 电路的暂态分析	101
5.3.1 RL 电路的零输入响应	101
5.3.2 RL 电路的零状态响应	103
5.4 分析一阶电路暂态过程的三要素法	106
小结	109
思考题	110
习题	111
第 6 章 供电、照明及安全用电	114
6.1 发电、输电、配电概况	114
6.2 导线截面的计算与选择	115
6.2.1 根据发热条件选择导线截面	115
6.2.2 根据允许电压损失选择导线截面	116
6.3 照明用电	117
6.3.1 照明技术的基础知识	117
6.3.2 常用电光源及其选择	118
6.4 安全用电	120

6.4.1 保护接地和保护接零	120
6.4.2 触电急救常识	123
6.4.3 触电事故的预防措施	123
小结	124
思考题	124
习题	124
第7章 磁路与变压器	125
7.1 磁路的基本定律及其简单计算	125
7.1.1 磁路	125
7.1.2 磁路的基本定律	129
7.1.3 简单磁路的计算	130
7.2 交流铁心线圈电路	132
7.2.1 电磁关系	132
7.2.2 交流磁路的铁心损耗	134
7.2.3 交流铁心线圈的等效电路	135
7.3 变压器的分类、作用和构造	135
7.3.1 变压器的分类	135
7.3.2 变压器的用途	136
7.3.3 变压器的结构	136
7.3.4 变压器的额定值	136
7.4 变压器的工作原理	137
7.4.1 变压器的空载运行	137
7.4.2 变压器的负载运行	139
7.4.3 变压器的阻抗变换作用	140
7.5 变压器的运行特征	141
7.5.1 变压器的外特性	141
7.5.2 变压器的损耗与效率	141
7.6 三相变压器	142
7.6.1 三相变压器的三相绕组	142
7.6.2 变压器的并联运行	144
7.7 特殊用途的变压器	145
7.7.1 自耦变压器	145
7.7.2 仪用互感器	145
7.7.3 电焊变压器	146
7.7.4 脉冲变压器	147
小结	147
思考题	147

习题.....	148
第 8 章 电工仪表及其电工测量	149
8.1 电工仪表	149
8.1.1 电工测量仪表的分类	149
8.1.2 电工测量仪表的组成	152
8.1.3 磁电式仪表	152
8.1.4 电磁式仪表	153
8.1.5 电动式仪表	154
8.2 电工测量技术	155
8.2.1 电流的测量	155
8.2.2 电压的测量	156
8.2.3 电功率的测量	157
8.2.4 磁电式万用表	159
8.2.5 数字式万用表	161
小结.....	162
思考题.....	162
习题.....	162
第 9 章 异步电动机的工作原理及应用	163
9.1 三相异步电动机的结构及额定值	163
9.1.1 三相异步电动机的结构	163
9.1.2 三相异步电动机的额定值	165
9.2 三相异步电动机的工作原理	165
9.2.1 旋转磁场	165
9.2.2 转子的转动原理	167
9.2.3 定子电路与转子电路	168
9.3 三相异步电动机的转矩和机械特性	171
9.3.1 三相异步电动机的电磁转矩	171
9.3.2 三相异步电动机的机械特性	171
9.4 三相异步电动机的运行	175
9.4.1 三相异步电动机的启动	175
9.4.2 三相异步电动机的调速	180
9.4.3 三相异步电动机的制动	181
9.4.4 三相异步电动机的选择	182
9.5 三相异步电动机运行中常见的故障及处理方法	183
9.5.1 电动机的启动故障	183
9.5.2 定子绕组故障	184

9.5.3 转子绕组故障	184
9.5.4 电动机过载发热	184
小结	185
思考题	187
习题	188
第 10 章 直流电动机	190
10.1 直流电动机的基本结构	190
10.2 直流电动机的工作原理	191
10.2.1 转动原理	191
10.2.2 电磁转矩	192
10.2.3 电枢电势及平衡方程	192
10.3 直流电动机的铭牌和分类	193
10.3.1 直流电动机的分类	193
10.3.2 直流电动机的铭牌数据	193
10.4 直流电动机的运行特性	194
10.4.1 机械特性	194
10.4.2 工作特性	196
10.5 直流电动机的使用	196
10.5.1 启动	196
10.5.2 反转	198
10.5.3 调速	198
10.5.4 制动	200
10.6 直流电动机的常见故障及处理方法	202
10.6.1 换向故障	202
10.6.2 绕组故障及原因	203
小结	203
思考题	204
习题	205
第 11 章 特种电机	207
11.1 同步电机	207
11.1.1 同步电机的特点、结构和分类	207
11.1.2 同步发电机	209
11.1.3 同步电动机	215
11.2 单相异步电动机	216
11.2.1 基本结构	216
11.2.2 常用单相异步电动机的型号	217

11.2.3 单相异步电动机的调速与正反转控制	219
11.3 伺服电动机	219
11.3.1 交流伺服电动机	219
11.3.2 直流伺服电动机	222
11.3.3 直流力矩电动机	223
11.4 步进电动机	224
11.4.1 工作原理	225
11.4.2 运行特性	228
11.4.3 驱动电源	231
11.5 测速发电机	232
11.5.1 直流测速发电机	232
11.5.2 交流异步测速发电机	234
11.6 自整角机	236
11.6.1 基本结构	236
11.6.2 工作原理	236
11.6.3 误差概述	238
11.6.4 选用时应注意的问题及应用举例	239
习题	240
第 12 章 继电接触器控制系统与 PLC	242
12.1 常用低压电器	242
12.1.1 常用低压电器的基本知识	242
12.1.2 接触器	246
12.1.3 继电器	249
12.1.4 主令电器	253
12.1.5 其他常用低压电器	256
12.2 三相笼型异步电动机直接启动的控制电路	262
12.2.1 单向旋转直接启动控制电路	262
12.3 三相笼型异步电动机正反转控制电路	264
12.4 行程控制	266
12.5 时间控制	267
12.6 可编程控制器原理及其应用	269
12.6.1 可编程控制器的组成与工作原理	270
12.6.2 PLC 的内部元件	274
12.6.3 FX2 系列 PLC 的基本指令	275
12.6.4 应用基本指令的编程	283
12.6.5 步进顺序控制	285
12.6.6 功能应用指令	287

小结	291
习题	291
附录	293
1 常用电气图形符号	293
2 电阻器、电容器的标称系列值	295
3 交流接触器的主要技术数据	296
4 热继电器的主要技术数据	297
部分习题答案	298
主要参考文献	303

第 1 章 电路的基本概念与基本定律

电路的基本概念与基本定律是分析与计算电路的基础,在学习过程中要注意区别电路的几种工作状态,特别注意所选定的电压电流的参考方向,以及电路中各点电位的计算。

1.1 电路

1.1.1 电路的基本组成及其作用

1. 电路的组成

电路是由电源、负载和中间环节组成的。最简单的电路模型如图 1-1 所示。

发电机、干电池等是电源,它们把其他形式的能量转变为电能,供给用电设备。

电灯、电动机、电炉等是负载,它们取用电能,分别把电能转变为光能、机械能、热能等。

变压器和输电线及开关等中间环节,是连接电源和负载的部分,它们起传输和分配电能的作用。

2. 电路的作用

(1) 利用电路可以实现能量的传输、分配和转换。例如在电力系统中,发电机组把热能、水能、原子能转换成电能,通过变压器、输电线路和开关输送和分配到用户,然后用户根据实际需要又把电能转换成机械能、光能和热能等。

(2) 电路的另一重要作用是传递和处理信号。通过电路元件,可以将信号源施加的信号变换或加工成所需的输出信号。例如,电子设备中放大器的作用是把微弱的输入信号放大成为满足工作需要的强的输出信号。

无论电能的传输、分配和转换,还是信号的传递和处理,其中电源或信号源的电压(电流)都称为激励,它驱动电路工作;在激励作用下,电路中某一元件上的电压或通过元件的电流称为响应。激励表示电源供给电路的能量,响应表示在电路某一元件上能量的应用。所谓电路分析,就是在已知电路结构和元件参数的条件下,讨论电路的激励与响应之间的关系。

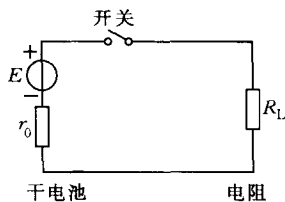


图 1-1 最简单的电路模型

1.1.2 电路的基本物理量

1. 电流

电流是由带电粒子(简称电荷)有规则的定向运动而形成的,在数值上它等于单位时间内通过某一导体横截面的电荷量。

设在极短时间 dt 内通过某一导体横截面 S 的微小电荷量为 dq , 则电流为

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

如果 $\frac{dq}{dt} = \text{常数}$, 即电流不随时间而变化, 则这种电流称为恒定电流, 常用大写的字母 I 表示, 即

$$I = \frac{Q}{t} \quad (1-2)$$

式中 Q 是在时间 t 内通过导体横截面 S 的电荷量。

电流的单位是安, 用符号 A 表示。如果 $1s$ 有 1 库(C)的电量通过导体某一横截面, 则这时的电流就是 $1A$ 。电流的较小单位是毫安(mA)或微安(μA); 电流的较大单位是千安(kA)。它们之间的换算关系为

$$1mA = 10^{-3}A, 1\mu A = 10^{-6}A, 1kA = 10^3A$$

习惯上规定正电荷运动的方向或负电荷运动的相反方向为电流的实际方向。但在分析较为复杂的直流电路时, 往往难于事先判断某支路中电流的实际方向; 对于交流电路而言, 其方向随时间变化, 在电路图上无法用一个箭头来表示它的实际方向。因此, 在电路分析中, 常常任意选定某一方向作为电流的正方向, 或称为参考方向。所选电流的正方向并不一定与电流的实际方向一致。当电流的实际方向与其正方向一致时, 则电流为正值; 反之, 当电流的实际方向与其正方向相反时, 则电流为负值。

本书中电路图上所标的电流方向都是选定的参考方向。电流的参考方向除用箭头表示外, 还可用双下标表示。例如, I_{ab} 表示电流的参考方向由 a 向 b ; I_{ba} 表示电流的参考方向由 b 向 a , 二者间相差一个负号, 即

$$I_{ab} = -I_{ba} \quad (1-3)$$

在图 1-2 所示的电路中, 选取电流 I 的参考方向从 a 到 b , 若计算结果 $I > 0$, 则表示电流的实际方向与选定的参考方向相同, 如图 1-2(a) 所示; 若计算结果 $I < 0$, 则表示电流的实际方向与选定的参考方向相反, 如图 1-2(b) 所示。

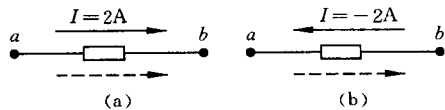


图 1-2 电流的参考方向与实际方向
(a) $I > 0$; (b) $I < 0$

综上所述, 参考方向是电路中一非常重要的概念, 在学习中应注意以下 3 点:

(1) 电流的实际方向是客观存在的, 而参考方向则是根据分析计算的需要任意选取的, 参考方向一经选定后, 在全部分析计算过程中就必须依此为依据, 不能随意变动。

(2) 同一电流, 若参考方向选择不同, 其结果是: 数值相等而符号相反。因此, 电流值的正负只有在选定参考方向下才有意义。

(3) 电路中的基本公式和结论, 都是在一定的参考方向下得出来的。因此, 在应用这些公式和结论时, 必须注意参考方向的选择。

还应特别指出, 电流是具有大小和流动方向的代数量, 是标量, 而不是矢量。其流动方向与矢量中的方向不同, 它并不决定电流这一物理量的作用效果。请务必注意这一点。

2. 电压

在电场中,如果电场力使电荷移动一段距离,则电场力对电荷做了功。为了衡量电场力对电荷做功的能力,我们引入电压这一物理量,用字母 U 或 u 表示。电压的定义是:如果电场力把正电荷 Q 从 A 点移到 B 点所做的功为 W ,则电场中 A 点到 B 点的电压为

$$U_{AB} = \frac{W}{Q} \quad (1-4)$$

简而言之,电场力把单位正电荷从 A 点移至 B 点所做的功,即为 A 、 B 两点间的电压 U_{AB} 。理论分析和实验均已证明:电场力移动电荷所做的功与路径无关,而只与始末位置有关。所以电场中两点间的电压只与这两点的位置有关。

电压的单位是伏。我们规定:电场力把 1C 的电量从 A 点移到 B 点,如果所做的功为 1J ,那么 A 、 B 两点的电压就是 1 伏,用字母 V 表示。对于较高或较低的电压,工程上常用千伏(kV)、毫伏(mV)、微伏(μV)做单位。它们之间的换算关系为

$$1\text{kV} = 10^3\text{V}, 1\text{mV} = 10^{-3}\text{V}, 1\mu\text{V} = 10^{-6}\text{V}$$

电压也有正、负之分,这是因为如果单位正电荷从 A 点移到 B 点是电场力做功,那么单位正电荷从 B 点移到 A 点必定是外力克服电场力做功,或者说电场力做了负功。这两部分功差了一个负号。电场力移动单位正电荷做功的方向规定为电压的实际方向,简称电压方向。如图 1-3 所示,电场强度方向从左指向右,电场力(移动单位正电荷做的正功)的方向由 A 点指向 B 点,所以 A 、 B 两点间电压的实际方向是由 A 向 B ,用双下标记为 U_{AB} 。由前面分析可知

$$U_{AB} = -U_{BA} \quad (1-5)$$

因为电路及其周围的空间存在着电场,所以电路中任何两点间都有或大或小(甚至可以为零)的电压作用。

3. 电位

由于电压是对电路中某两点而言的,因此,在分析较复杂的电路,特别是在分析电子电路时,一一说明电路中每两点的电压就很繁琐。如果利用电位进行分析则显得很方便。

若在电路中任选一点作为参考点,则电路中某点的电位就是该点到参考点之间的电压,数值上就等于电场力把单位正电荷从电路中该点移到参考点所做的功。电位常用符号 V 表示,例如把 A 点的电位记作 V_A 。参考点一般叫做“零”电位点,所以 A 点的电位为

$$V_A = U_{A0} \quad (1-6)$$

电位的单位与电压相同,也是伏(V)。

电路中,电位参考点可以任意选定,但在电力工程中,常取大地作为参考点,并令其电位为零。因此,凡是外壳接地的电气设备,其机壳都是零电位。对于不接地的设备,在分析问题,常选许多元件汇集的公共点作为零电位点,并用符号“ $\perp$ ”表示;接大地则用符号“ — ”表示,以示区别。

电路中,参考点选得不同,各点的电位值也不同。电路中任何两点 A 、 B 间的电压等

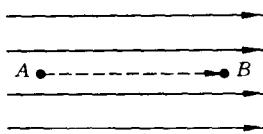


图 1-3 电场强度与电压的实际方向

于 A、B 两点的电位差,即

$$U_{AB} = U_{A0} - U_{B0} = V_A - V_B \quad (1-7)$$

这说明,参考点不同,电路中各点电位虽然不同,但任意两点间的电压(电位差)却保持不变。也就是说,电路中任意两点间的电压与参考点的选择无关。

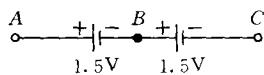


图 1-4 例 1-1 的电路

例 1-1 在图 1-4 所示电路中,若分别以 B 点和 C 点为参考点,试求各点的电位。

解 因为电压与参考点的选择无关,所以可先确定电路中每两点间的电压

$$U_{AB} = 1.5\text{V}, U_{BC} = 1.5\text{V}, U_{AC} = U_{AB} + U_{BC} = 3\text{V}, U_{CA} = -U_{AC} = -3\text{V}$$

以 B 点为电位参考点时,各点的电位为

$$V_B = U_{BB} = 0, V_A = U_{AB} = 1.5\text{V}, V_C = U_{CB} = -U_{BC} = -1.5\text{V}$$

以 C 点为参考点时,各点的电位为

$$V_C = U_{CC} = 0, V_A = U_{AC} = 3\text{V}, V_B = U_{BC} = 1.5\text{V}$$

同理,可求得以 A 点为参考点时各点的电位。计算结果表明,参考点选择的不同,各点的电位也不同。

在进行电路分析时,也像电流一样,电压的实际方向(或极性)往往事先无法知道。为了计算和研究问题的方便,也应选定一个参考方向(或参考极性),并且规定:当电压的实际方向与所选参考方向一致时,其值为正;反之,当电压的实际方向与所选参考方向相反时,其值为负。在选定的电压参考方向参照下,电压的正、负可以反映出其实际方向。

选定的电压参考方向有 3 种表示方法,如图 1-5 所示。

(1) 在电路图中用箭头表示。箭头由假定的高电位端指向低电位端。

(2) 用“+”、“-”号表示极性。“+”极对应假定的高电位端,“-”极对应低电位端。

(3) 用双下标表示。图 1-5 中 U_{ab} ,前标 a 表示假定的高电位端,后标 b 表示低电位端。

这 3 种表示法含义相同,可以通用,实际使用时可任选 1 种或 2 种。

须强调指出,在未标出电压参考极性的情况下,其正负值是毫无意义的。在分析电路时,某一元件或某一段电路上的电流参考方向一经选定后,其电压的参考方向通常与电流的参考方向一致(电源端电压除外),即电流从电压正极端流入,负极端流出。这种使一个量的参考方向与另一个量的参考方向一致的两个参考方向称为关联方向,如图 1-6 所示。

4. 电动势

由上述讨论可知,在电场力作用下,正电荷总是从高电位向低电位移动,在外电路中从正极移向负极。在图 1-7 所示电路中, a 、 b 两个电极板分别带有等量异号电荷,因此 a 、 b 之间就存在着电场,其方向由 a 指向 b 。假若用导线经过一个灯泡将两个电极连接起来,则在电场力的作用下,正电荷就要从 a 极经过灯泡移到 b 极(实际上是电子从 b 极经灯泡移到 a 极),从而形成电流。如果只有电场力对电荷作用,那么随着电荷的移动,两个极板上的正负电荷中和,逐渐减少,它们所产生的电场也逐渐减弱,直至为零,从而使流过导线的电流也逐渐减小,最后为零。要想维持电流流动,必须有一种外力把正电荷源源不断地从低电位处移到高电位处,即从负极 b 移回到正极 a 。这个任务是由电源来完成的。