

技工学校教材



电 工 学

安庆电力建设技术学校 刘笃鹏 李朝纲

水利电力出版社

JIGONG XUEXIAO JIAOCAI

技工学校教材

电 工 学

安庆电力建设技术学校 刘笃鹏 李朝纲

*

水利电力出版社出版

(北京三里河路6号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力出版社印刷厂印刷

*

787×1092毫米 16开本 25印张 565千字

1986年11月第一版 1986年11月北京第一次印刷

印数00001—34120册 定价3.35元

书号 15143·6168

内 容 提 要

本书共分三篇。第一篇电工原理，包括：直流电路、电磁学基本知识、单相交流电路、三相交流电路和电工仪表。第二篇电机与厂用电设备，包括：变压器、同步发电机、异步电动机、直流电动机、厂用电设备和厂用电二次回路。第三篇电子技术基础，包括：晶体管及其特性、晶体管放大电路、振荡电路、直流电源、可控硅整流电路和脉冲电路。

本书具有内容丰富、深入浅出、通俗易懂等特点，便于读者自学。各章还附有一定数量的习题。

本书为电力技工(技术)学校热动专业教学用书，也可供其它非电专业和技术工人培训用教材，并可供非电专业的技术人员参考。

前 言

本书是根据水利电力部一九八二年颁发的技工（技术）学校教学大纲编写的，主要用作发电厂热能动力设备运行与检修专业及其它非电专业的教材。

在编写本书的过程中，我们力求使内容深入浅出，通俗易懂；基本概念做到准确清楚。在电机及厂用电设备和电子技术基础两篇中，我们尽量结合电厂有关设备做定性介绍；对基本电子电路也是以定性讲清电路结构、工作原理为主，必要时才辅以定量分析。并在不同的章节中简单介绍目前出现的一些新技术，以开拓读者的视野。

考虑到发电厂热能动力设备运行与检修专业后续课和今后工作的需要，本书对场效应管及其放大电路和调制式直流放大电路，均用了一定的篇幅加以介绍。各校在使用本书时，可酌情作适当的增删。

本书第一篇和第三篇由刘笃鹏编写，第二篇由李朝纲编写，由刘笃鹏任主编。在编写过程中得到了学校领导的关怀和支持。安庆电力建设技术学校江金镇同志校阅了部分书稿。彭雪珠同志为本书的出版作了许多有益的工作。

全书由湖北省电业技工学校王文渭（主审）、金仕贤、肖兴邦三位同志审阅，对书稿提出了许多宝贵意见。

作者谨向上述同志表示衷心的感谢。

本书在编写过程中，由于时间仓促，并加上编者水平所限，书中难免有疏误之处，恳请使用本书的老师 and 读者批评指正。

编 者

1985年12月

目 录

前言

绪论	1
----	---

第一篇 电 工 原 理

第一章 直流电路	3
第一节 电路 电路图	3
第二节 电流	6
第三节 电压、电位和电动势	7
第四节 欧姆定律 电阻元件	11
第五节 电能、电功率及电流的热效应	12
第六节 基尔霍夫定律	14
第七节 电阻的串联、并联和混联	18
第八节 电压源和电流源的等效互换	24
第九节 支路电流法	30
第十节 节点电位法	32
第十一节 戴维南定理	34
第十二节 电桥电路	38
第十三节 叠加定理	39
习题	40
第二章 电磁学基本知识	49
第一节 磁场	49
第二节 磁场的几个物理量	51
第三节 铁磁物质的磁化及其磁化曲线	53
第四节 电磁感应	56
第五节 自感、互感和涡流	60
第六节 简单磁路的概念	65
习题	66
第三章 正弦交流电路	69
第一节 正弦交流电的基本概念	69
第二节 正弦量的向量表示法	77
第三节 交流电路中的电阻元件	81
第四节 交流电路中的纯电感元件	84
第五节 电容器	88

第六节 交流电路中的纯电容元件	94
第七节 电阻、电感和电容串联的交流电路	98
第八节 线圈与电容器并联的电路	105
第九节 电路的谐振	108
习题	110
第四章 三相交流电路	116
第一节 三相交流电动势的产生	116
第二节 三相电源的连接	117
第三节 三相负载的连接	120
第四节 三相电路的功率	127
习题	129
第五章 电工仪表	131
第一节 磁电系仪表	131
第二节 电磁系仪表	134
第三节 电动系仪表和功率测量	137
第四节 万用电表简介	140
习题	143

第二篇 电机与厂用电设备

第六章 变压器	144
第一节 单相变压器	144
第二节 三相变压器简介	150
习题	151
第七章 同步发电机	152
第一节 同步发电机的结构及工作原理	152
第二节 同步发电机的并列运行	156
第三节 同步发电机的负载调节	159
习题	161
第八章 异步电动机	162
第一节 旋转磁场的产生	162
第二节 三相异步电动机	166
第三节 单相电动机	173
第四节 可逆电动机	175
第五节 电动机的运行和维护	176
习题	177
第九章 直流电动机	179
第一节 直流电动机的主要结构和工作原理	179
第二节 直流电动机的调速和反转	182
习题	184
第十章 厂用电设备	185

第一节 厂用电设备概述	185
第二节 低压电气开关	187
习题	196
第十一章 厂用电二次回路	197
第一节 厂用电二次回路概述	197
第二节 二次回路中的继电器	200
第三节 厂用电机的控制回路	204
第四节 厂用电机的保护回路	208
第五节 厂用电机的联锁回路	210
第六节 安全用电的基本知识	217
习题	220

第三篇 电子技术基础

第十二章 晶体管及其特性	221
第一节 半导体器件基础知识	221
第二节 PN结及其单向导电性	224
第三节 晶体二极管	226
第四节 晶体三极管	229
第五节 场效应晶体管	237
习题	243
第十三章 晶体管放大电路	245
第一节 基本放大电路的组成及工作原理	245
第二节 基本放大电路的分析方法	252
第三节 静态工作点稳定的基本放大电路	260
第四节 多级放大电路	265
第五节 功率放大电路	268
第六节 负反馈放大电路	278
第七节 直流放大电路	288
第八节 调制型直流放大电路简介	297
第九节 场效应管基本放大电路	300
习题	302
第十四章 正弦波振荡电路	309
第一节 自激振荡的条件及正弦波振荡电路的组成	309
第二节 LC振荡电路	311
习题	318
第十五章 直流电源	320
第一节 单相半波整流电路	320
第二节 单相全波整流电路	322
第三节 单相桥式整流电路	324
第四节 滤波电路	327

第五节	硅稳压管稳压电路	329
第六节	串联型晶体管稳压电路	332
第七节	并联型晶体管稳压电路简介	336
习题		337
第十六章	可控硅整流电路	339
第一节	可控硅元件	339
第二节	可控整流电路	343
第三节	单结晶体管触发电路	347
第四节	可控硅的使用	351
习题		353
第十七章	脉冲电路	355
第一节	脉冲电路的基本知识	355
第二节	RC微分电路和积分电路	356
第三节	晶体管的开关特性	359
第四节	反相器	361
第五节	双稳态触发电路	365
第六节	单稳态触发电路	373
第七节	多谐振荡器	377
第八节	门电路	379
习题		388

绪 论

电能是现代化生产的主要动力。由于电能具有输送方便,易于转换成其它形式的能量,使用电能可以使生产过程实现自动化等特点,因此电能在现代工农业、交通运输业、科学技术、国防建设乃至人们的日常生活中是离不开的。

电力工业发展水平是衡量一个国家国民经济发展水平的重要标志之一。电力工业的发展,对国民经济的发展有极大的影响,我国把电力工业称之为发展国民经济的先行官,可见,它所占的位置是何等重要。

新中国成立后,电力工业得到了迅速的发展,发电量和装机总容量比解放前增长几十倍;单机容量也已达60万千瓦;500千伏超高压输变电设备业已投入运行,一九八五年发电量将达四千万亿千瓦小时左右。以核燃料为动力的核电站也在相继建设。目前全国已形成东北、华北、华东和中南等几个大型的电力网,并将逐步实现全国联网。尽管如此,我国电力工业仍不能满足整个国民经济飞跃发展的需要,电力工业的技术水平,与世界先进水平相比还有很大的差距。因此,加快电力工业发展的步伐,提高电力工业的科学技术水平,是每一个电力工作者光荣而艰巨的任务。

发展电力工业,需要大批的专业人才。而每一种新技术的发展和应用几乎都与电工技术和电子技术有密切的关系。例如,发电厂中几乎所有的机械负载都是由异步电动机或直流电动机带动的。热力系统中的各种测量仪表、热力过程的自动调节装置等,也都离不开电工及电子技术的应用。特别是电子计算机的普及应用,对电力工业的发展,毫无疑问也将起着巨大的变革作用。因此,从事电力生产的各种非电专业的工作人员,也必须掌握一定的电工技术与电子技术方面的知识,使自己能适应本专业工作的需要,适应当前科学技术迅速发展的需要。

《电工学》是介绍电工技术与电子技术理论及其在工程技术中应用的一门技术基础课程。要求通过本课程的学习获得必要的基本理论知识和技能,为后续课程的学习以及日后的工作实践打下良好的基础。

本书包括电工原理、电机及电厂用电设备和电子技术基础三篇。通过电工原理的学习,要求能够正确理解和运用有关的电工基本定律、定理;掌握电路的基本分析计算方法。在电机及电厂用电设备部分,要求学生掌握磁路的基本知识,了解变压器和电机的基本原理、运行特性,并能正确地选择和使用有关厂用电设备。电子技术部分应掌握常用半导体器件的工作原理,了解其有关参数,能正确使用常用的半导体器件,掌握各种放大电路、振荡电路、整流滤波稳压电路以及脉冲电路的基本结构和工作原理,要逐步学会阅读较复杂的电子电路。实现四个现代化,关键是实现科学技术现代化,而科学技术的现代化又

在于电子科学技术的现代化。在新的工业革命业已到来的今天，从事电力生产的人员倘若不掌握一定的电子技术知识，那是不可思议的。正因为如此，电子技术篇是本书中篇幅最大的一篇，即使这样，书中所介绍的也还只是一些最简单、最基本的电子技术知识。

由于电工学实践性较强，在教学过程中应注重实验环节。通过实验可以加深对所学理论知识的理解，熟悉电气设备的性能和使用，培养分析问题和解决问题的能力。

习题是巩固所学知识的重要手段，它是十分重要的教学环节之一。本书每章后面均编选了许多习题，以供教学过程中选用。

愿《电工学》能帮助读者提高电工水平、为技术进步作出贡献。

第一篇 电 工 原 理

第一章 直 流 电 路

第一节 电 路 电 路 图

由若干个电气设备或元件，按照一定的方式连接起来构成的电流的通路，叫做电路。

电路有直流电路与交流电路之分。本章所讲解的是直流电路。直流电路是研究其它复杂电路的基础。

我们日常生活中用的手电筒，就是一个最简单的直流电路。这个电路是由于电池、小灯泡、连接导体（外壳）和开关组成的。

任何一个完整的电路，不管其结构和作用如何，通常总是由下面三个基本部分组成的。

（1）电源 电源是一种将其它形式能量转换为电能的装置。例如干电池和发电机都是电源，它们分别将化学能和机械能转换成电能。此外，电子电路中的振荡器也是一种电源，它是将一种形式的电能（直流电能）转换成另一种形式的电能（交流电能）。

（2）负载元件（简称负载） 负载元件是将电能转换为其它形式能量的装置。电路中的负载元件就是各种用电设备，例如灯泡、电动机等。灯泡是将电能转换为光能的元件；电动机则是将电能转换为机械能的装置。在电路中，通常是将灯泡、电炉看成是电阻元件。

（3）导线 导线（或导体）是用来连接电源和负载元件的装置。例如手电筒的筒壳或筒壳内的金属片、各种印刷电路板上元件之间的铜膜、电动机的线圈、输配电线和照明线等都是导线。

实际电路中为安全及使用方便起见，常常还装有开关、熔丝、测量仪表等设备来执行控制、保护和测量任务。

对电源来说，负载和连接导线称为外电路，电源内部的电路（如发电机的线圈等）称为内电路。

一个实际的电路虽然是由上述一些基本部分组成，但电工学所要研究的并不是由上述这些具体元件组成的电路，而是研究从实际电路中抽象出来（或者说是理想化）的电路模型。实际电路中的电源、灯泡、电容器、晶体管等实际元件的电特性都是比较复杂。我们在分析研究电路时，往往是抓住每种元件的主要电特性，忽略其次要的因素，将这些实际元件模型化、理想化。譬如说，把灯泡看成是一个纯电阻元件；把一个新的干电池，看成是一个端电压恒定的理想电压源；同样，导线的电阻一般很小，所以在分析电路时也常

表 1-1

电路中常用的图形符号

名 称	符 号	名 称	符 号
信号灯(小电珠)		电 流 表	
照 明 灯		电 压 表	
单刀开关		欧 姆 表	
多刀开关 (例如双刀)		固 定 电 阻	
转换开关		可 变 电 阻	
电 池		电 位 器	
电 池 组		电 容 器	
直 流 电		可 变 电 容 器	
交 流 电		电 解 电 容 器	
交直流电		单 相 铁 芯 变 压 器	
不 相 连 接 的 交 叉 导 线		无 铁 芯 的 电 感 线 圈	
相 连 接 的 交 叉 导 线		有 铁 芯 的 电 感 线 圈	
接 地		熔 断 器(保 险 丝)	
恒 流 源		恒 压 源	

把导线的电阻视为零。总之，我们所要研究的电路是一种理想化了的电路模型。这种模型是对实际元件作了工程上能够允许的近似之后得出的。对于这种电路模型，我们可以借助一些数学方法进行分析、计算，从而掌握实际电路的电特性。

在工程上，为了分析和计算的方便，我们往往用一些图形符号来代表各种实际元件。表 1-1 中列出了电路中常用的一些图形符号（表中未列出各种半导体器件的符号）。利用这些符号按照实际电路中各元件连接关系画出的图叫做电路图，图 1-1 是手电筒的示意图和电路图。

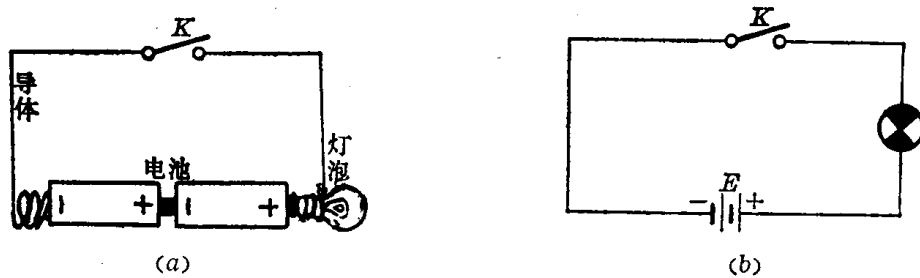


图 1-1 手电筒的示意图和电路图

(a) 示意图；(b) 电路图

电路图应能正确反映出实际电路中各元件的连接关系，但各元件在电路中的具体位置并不要求一定与实际电路中各元件的安装位置相同。

电路通常有三种工作状态：

(1) 通路 通路就是电源与负载接成闭合回路，也就是图 1-1(b) 开关合上时的工作状态。必须注意，处于这种工作状态下各种电气设备或元件的电压、电流、功率等数值不能超过制造厂所规定的额定值，否则将会使电气设备或元件损坏。

(2) 断路 断路就是电源与负载未接通成闭合回路，也就是图 1-1(b) 中开关断开时的工作状态。断路时相当于负载电阻无穷大，电路中电流等于零。在实际电路中，电气设备与电气设备之间、电气设备与导线之间连接时接触不良也往往使电路处于断路状态。所以实际电路中该连接的地方应保证接触良好。

(3) 短路 短路就是电源未经负载而直接由导线接通成闭合回路，如图 1-2 所示。图 1-2 中虚折线箭头表示 a 、 b 间短路。短路时，短路点的电阻等于零，电路中出现比正常工作时大得多的电流，使电源和有关电气设备烧坏。短路是一种严重的故障，应尽量避免。

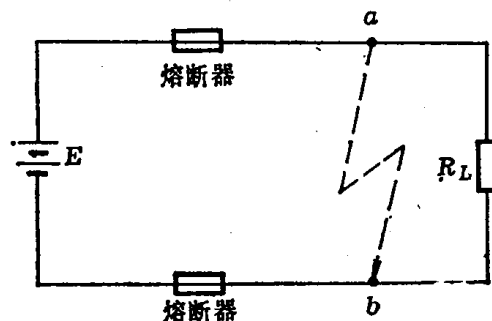


图 1-2 短路状态

第二节 电 流

当你合上电灯开关时，电灯就亮了。这时我们就说电灯泡的钨丝中有电流通过。电路中能量的传输和转换正是依靠电流来实现的。电流是如何形成的呢？电流是带电粒子在外加电场作用下定向运动形成的。在金属导体中，电流是由导体中的自由电子作有规则的定向漂移运动形成的；而在电解液和被电离后的气体的导电过程中，电流是由正、负离子在电场力作用下沿着彼此相反方向运动所形成的。

电流的大小是用电流强度来衡量的，电流强度的定义是：电流强度等于单位时间内通过导体任一横截面的电量。电流强度简称电流。所以“电流”二字不仅表示一种物理现象，而且也是一个物理量，常以字母 I （直流）或 i （交流）来表示。如果把电流强度写成数学表达式，则成为

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

式中 dQ 是在极短的时间 dt 秒内通过导体横截面的电量（单位是库仑，用字母 C 表示）。

如果电流不随时间变化，即在相同的时间间隔内通过的电量相等，而且方向也不变，那么这种电流便称为稳恒电流，简称直流。在这种情况下，电流的表示式可以写成

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

式中 I —— 电流强度（安）；

t —— 时间（秒）；

Q —— 电量（库仑）。

若在 1 秒钟（s）内通过导体横截面的电量是 1 库仑（C），则流过导体的电流就是 1 安培，简称安，用字母 A 表示。

在工程上，根据不同需要，大电流用千安（kA），小电流用毫安（mA）或微安（ μA ）作单位。

$$1 \text{ kA (千安)} = 10^3 \text{ A (安)}$$

$$1 \text{ mA (毫安)} = 10^{-3} \text{ A (安)}$$

$$1 \mu A (\text{微安}) = 10^{-6} \text{ A (安)}$$

电流的实际方向，习惯上规定以正电荷运动的方向作为电流的方向，它与电子运动的方向相反。在分析计算电路时，电流的实际方向往往预先无法知道，因此为了方便起见，可以先任意假定某一方向为电流的正方向，并用箭头在电路图上标出，箭头所指的方向为假定的电流正方向。这种任意假定的电流正方向叫做电流的参考方向。参考方向可能与实际方向相同，也可能相反。当参考方向与实际方向相同时，电流为正值；反之为负值。于是，电流可能为正，也可能为负，所以它是一个代数量。如图 1-3，设电流为 2A，它的实际方向是由 a 点流向 b 点，如虚线箭头所示。当我们分别选用不同的参考方向（如实线箭头所示）时，其电流的符号不一样。在图 1-3(a) 中由于参考方向与实际方向一致，所以

$I = 2\text{A}$ ；在图1-3(b)中由于参考方向与实际方向相反，所以 $I = -2\text{A}$ 。在电路图中实际方向一般不必标出，而参考方向则必须用箭头标出。根据参考方向列电路方程计算，计算结果为正时，说明参考方向与实际方向一致；反之，相反。

应该指出：(1) 在未标出参考方向的情况下，电流的正负是毫无意义的；(2) 电流的参考方向虽然可以任意选定，但当电路中的实际方向已知时，应选实际方向作为参考方向，这样可以避免计算中出现负号。

最后顺便指出：电流是具有大小和方向的代数量，是一个标量，而不是几何矢量（向量）。

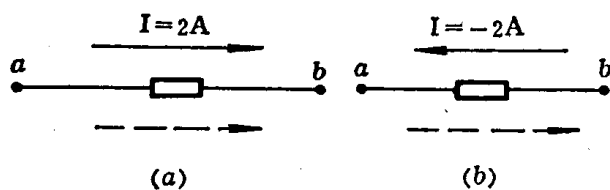


图 1-3 电流的参考方向
(a) 参考方向与实际方向一致；(b) 参考方向与实际方向相反

第三节 电压、电位和电动势

一、电压和电位

1. 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 （直流）或 u （交流）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

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

由理论分析和实验都可以证明：电场力移动电荷所做的功与路径无关，而只与起始位置有关。所以电场中两点间的电压只与这两点的位置有关。

电压的单位是伏特。我们规定：电场力把 1 库仑 (C) 的电量从 A 点移到 B 点，如果所做的功为 1 焦耳 (J)，那么 A 、 B 两点间的电压就是 1 伏特，简称伏，用字母 V 表示。

$$1\text{V} = \frac{1\text{J}}{1\text{C}}$$

对于较高或较低的电压，工程上还常用千伏 (kV)、毫伏 (mV) 或微伏 (μV) 作单位。

$$1\text{kV}(\text{千伏}) = 10^3\text{V}(\text{伏})$$

$$1\text{mV}(\text{毫伏}) = 10^{-3}\text{V}(\text{伏})$$

$$1\mu\text{V}(\text{微伏}) = 10^{-6}\text{V}(\text{伏})$$

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，或者说是电场力做了负功。这两部分功差了一个负号。人们规定：电场力移动单位正电荷做功的方向为电压的实际方向，简称电压方向。如图1-4所示，电场强度方向由左指向右，电场力移动单位正电荷做正功的方向是由A指向B，所以A、B间电压的实际方向是由A指向B，用双下标记为 U_{AB} 。

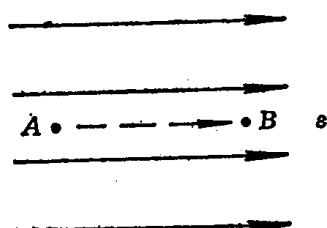


图 1-4 电压的实际方向

从图1-4也可看出，电压的方向也就是电位能降落（减小）的方向，或者说是电压降落（简称电压降）的方向。由上分析可知

$$U_{AB} = -U_{BA} \quad (1-4)$$

电压的方向又称为电压极性。

因为直流电路及其周围空间存在着电场，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。电路中，电压是使自由电荷定向运动形成电流的原因。

2. 电位

由于电压是指电路中某两点而言的，因此，在分析比较复杂的电路时，特别是在分析电子电路时，要一一说明电路中每两点间的电压往往感到很繁琐。如果利用电位进行分析则显得很方便。

如果在电路中任选一点作为参考点，那么电路中某点的电位就是该点到参考点之间的电压。电位可用希腊字母“ φ ”表示，电路中A点的电位就记作 φ_A ；电位也常用V表示，把A点电位记作 V_A 。参考点一般叫做0点，所以A点的电位为

$$V_A = U_{A0} \quad (1-5)$$

电位实际上就是电压，是电路中某点对参考点的电压，所以电位也有正负之分。某点电位比参考点（0点）电位高者为正，反之为负。至于参考点本身的电位，就是参考点对参考点的电压，显然 $V_0 = U_{00} = 0$ ，即参考点的电位为零，所以参考点又叫零电位点。

电位的单位也是伏特。

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，并令它的电位为零。因此，凡是外壳接地的电气设备，其机壳都是零电位。有些不接地的设备，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“ $\perp$ ”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之间的电压等于A、B两点的电位差，即

$$U_{AB} = U_{A0} - U_{B0} = V_A - V_B \quad (1-6)$$

它说明，参考点不同时，电路中各点电位虽然不同，但任意两点间的电位差（电压）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。下面请看例题：

例 1-1 在图1-5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 U_{AB} 和 U_{CA} 。

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之间的电压

$$U_{AB} = 1.5V, U_{BC} = 1.5V, U_{AC} = U_{AB} + U_{BC}$$

$$=1.5+1.5=3\text{V}; U_{CA}=-U_{AC}=-3\text{V}.$$

以C点为参考点时, 各点电位为

$$V_C=U_{CC}=0$$

$$\because U_{BC}=V_B-V_C \quad \therefore V_B=U_{BC}+V_C=1.5+0=1.5\text{V}$$

$$\text{又} \because U_{AB}=V_A-V_B \quad \therefore V_A=U_{AB}+V_B=1.5+1.5=3\text{V}$$

以B点为参考点时, 各点电位为

$$V_B=U_{BB}=0$$

$$V_A=U_{AB}+V_B=1.5+0=1.5\text{V}$$

$$V_C=V_B-U_{BC}=0-1.5=-1.5\text{V}$$

同理可求得以A点为参考点时各点的电位。以上计算结果表明, 参考点选择得不同, 各点的电位也不同。

前面已说过, 电压的实际方向规定为电场力移动单位正电荷做功的方向, 即电位能降落的方向, 或者说是由高电位指向低电位的方向。在进行电路分析时, 也像电流一样, 它的实际方向(或极性)往往事先无法知道。因此, 也可以, 而且必须在电路中任意选定某两点间电压的参考正方向(或叫参考极性)。

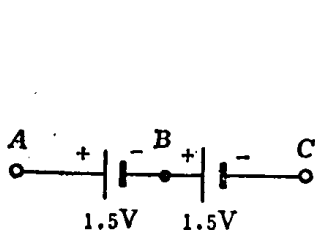


图 1-5 例1-1的电路图

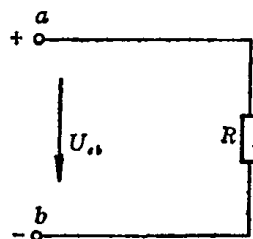


图 1-6 电压参考方向的表示

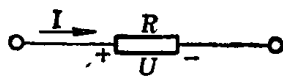


图 1-7 电压电流的关联方向

电压的参考方向有三种表示方法, 如图1-6所示。

(1) 在电路中用箭头表示。箭头由假定的高电位端指向低电位端。

(2) 用符号“+”、“-”表示正负极性。“+”极对应假定的高电位端, “-”极对应低电位端。

(3) 用双下标表示。如图1-6中的 U_{ab} , 其中前一个下标 a 表示假定的高电位端, 后一个下标 b 表示低电位端。

上述三种表示法含义相同, 可以通用, 实际使用时可以任选一种或两种。

当参考方向与实际方向一致时, 电压为正, 反之为负。同样, 根据参考方向计算出的电压为正值时, 说明参考方向与实际方向一致, 反之相反。这里还要指出, 在未标出电压参考极性的情况下, 其正负值是毫无意义的。电路中, 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选得与电流的参考方向一致(电源两端电压除外), 即电流从电压参考方向的正极端流入, 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叫做关联方向, 如图1-7所示。

二、电动势

通过上面的讨论, 我们知道, 正电荷在电场力的作用下总是从高电位向低电位移动,