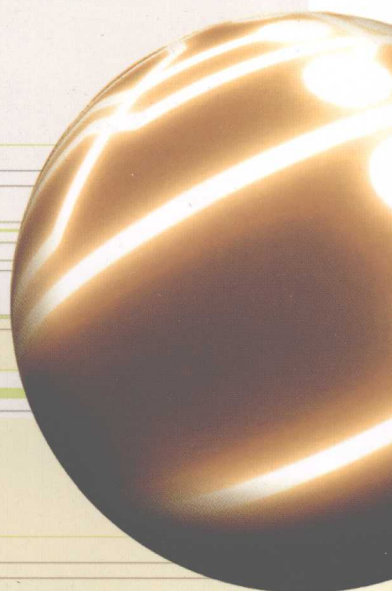


新编21世纪高等职业教育电子信息类规划教材·电气自动化技术专业



电工基础

沈国良 主编 严金云 副主编 孙琴梅 主审



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

新编 21 世纪高等职业教育电子信息类规划教材·电气自动化技术专业

电工基础

沈国良 主 编

严金云 副主编

孙琴梅 主 审

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书是高职高专电类、自动化类专业的专业基础课教材。全书共8章,包括电路的基本概念和基本定律、电路的基本分析方法、交流电路的基本概念、单相交流电路分析、三相交流电路分析、磁路、非正弦周期电流电路、动态电路的暂态分析等。全书突出能力目标,每章附典型的应用实例。

本书可作为高职高专教学用书,也可作为工程技术人员的参考书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

电工基础/沈国良主编. —北京:电子工业出版社, 2008.7

新编 21 世纪高等职业教育电子信息类规划教材·电气自动化技术专业

ISBN 978-7-121-06484-5

I. 电… II. 沈… III. 电工学—高等学校:技术学校—教材 IV. TM1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 099607 号

责任编辑:程超群

印 刷:北京市顺义兴华印刷厂

装 订:三河市双峰印刷装订有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本:787×1092 1/16 印张:11.5 字数:291.2 千字

印 次:2008 年 7 月第 1 次印刷

印 数:4 000 册 定价:18.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010) 88258888。

前 言

本书是江苏省二类精品课程《电工基础》配套建设教材，可作为高职高专电类、自动化类专业的教学用书，还可作为工程技术人员的参考书及相关岗位培训教材。

本教材有以下主要特点：

(1) 以能力目标为主线，强调理论联系实际，每章配有具体的“学习目标”，做到学生学习时更有针对性。

(2) 每章附典型的应用实例，增强学生的感性认识，同时为后续专业课程做铺垫，提高专业课程学习的兴趣。

(3) 知识浅显易懂，以“必需、够用”为度，突出课程教学的针对性，编写时尽可能做到以定性分析为主，辅以必要的定量计算；淡化理论推导，注重实践应用，注重分析问题和解决问题的方法和思路。

(4) 本教材的编写突破了原来传统的体系，对传统内容做了精选，并按照先概念、定律后电路分析方法的思路组织编写，同时补充了磁与电磁的部分知识；既保证了必需的常用基础知识，又增加了适应新技术的知识，旨在拓宽学生的视野。

(5) 每章附知识结构图，对本章内容做到系统归纳，便于师生教和学。

本书由南京化工职业技术学院沈国良老师担任主编并编写第1、3、4章，严金云老师担任副主编并编写第5、6章，赵旭升老师编写第2章，冯薇老师编写第7章，尹俊老师编写第8章。孙琴梅老师担任本书主审。在本书的编写过程中，教研室多位同事对书稿提出了很多宝贵意见，在此对他们表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中难免存在不妥和错误之处，恳切希望各位老师和读者批评指正。

编 者
2008年4月

目 录

第 1 章 直流电路	(1)
1.1 电路和电路模型	(1)
1.1.1 电路	(1)
1.1.2 电路模型	(2)
1.2 电路的基本物理量	(2)
1.2.1 电流及其参考方向	(2)
1.2.2 电压及其参考方向	(3)
1.2.3 电位	(4)
1.2.4 电动势	(5)
1.2.5 功率	(5)
练习与思考	(6)
1.3 电路的工作状态	(7)
1.3.1 开路状态(空载状态)	(7)
1.3.2 短路状态	(7)
1.3.3 负载状态(通路状态)	(7)
练习与思考	(8)
1.4 电路基本元件	(8)
1.4.1 电阻元件	(8)
1.4.2 电感元件	(10)
1.4.3 电容元件	(11)
1.4.4 主要实际元件的应用及其种类	(12)
练习与思考	(12)
1.5 基尔霍夫定律	(13)
1.5.1 几个相关的电路名词	(13)
1.5.2 基尔霍夫电流定律(KCL)	(13)
1.5.3 基尔霍夫电压定律(KVL)	(14)
练习与思考	(16)
1.6 应用实例——直流输电线路	(17)
本章知识结构图	(18)
习题	(18)
第 2 章 电路的基本分析方法	(21)
2.1 电阻电路的等效变换	(21)
2.1.1 电阻的串联	(21)
2.1.2 电阻的并联	(22)
2.1.3 电阻的混联	(24)
2.1.4 电阻的 Y- Δ 等效变换	(24)

练习与思考	(26)
2.2 电源电路的等效变换	(26)
2.2.1 电压源和电流源	(26)
2.2.2 实际电源的模型	(27)
2.2.3 实际电源的等值变换	(29)
2.2.4 受控电源	(29)
练习与思考	(30)
2.3 电路分析方法	(31)
2.3.1 支路电流法	(31)
2.3.2 节点电位法	(32)
练习与思考	(33)
2.4 叠加定理及其应用	(34)
2.4.1 叠加定理	(34)
2.4.2 叠加定理的应用	(34)
练习与思考	(35)
2.5 戴维南定理及其应用	(35)
2.5.1 戴维南定理	(35)
2.5.2 戴维南定理的应用	(36)
2.5.3 最大功率传输	(37)
练习与思考	(38)
2.6 应用实例——直流单臂电桥	(38)
本章知识结构图	(39)
习题	(39)
第3章 交流电路的基本概念	(44)
3.1 正弦交流电路的三要素	(44)
3.1.1 正弦电流及其三要素	(44)
3.1.2 相位差	(45)
3.1.3 有效值	(46)
练习与思考	(46)
3.2 正弦量的相量表示法	(47)
3.2.1 复数及其表示形式	(47)
3.2.2 复数运算	(48)
3.2.3 正弦量的相量表示法	(49)
练习与思考	(50)
3.3 交流电路的基本元件	(51)
3.3.1 电阻元件	(51)
3.3.2 电感元件	(53)
3.3.3 电容元件	(56)
练习与思考	(58)
3.4 三相交流电源	(59)

3.4.1 对称三相电源	(59)
3.4.2 相序	(60)
3.4.3 三相电源的连接	(60)
练习与思考	(62)
3.5 应用实例——相序指示器	(62)
本章知识结构图	(63)
习题	(64)
第4章 单相交流电路分析	(66)
4.1 R、L、C 元件串、并联电路分析	(66)
4.1.1 R、L、C 串联电路	(66)
4.1.2 R、L、C 并联电路	(70)
4.1.3 复阻抗与复导纳的等效变换	(72)
4.1.4 R、L、C 电路中的谐振	(74)
练习与思考	(81)
4.2 阻抗的串、并联电路	(82)
4.2.1 阻抗的串联	(82)
4.2.2 阻抗的并联	(83)
4.2.3 阻抗混联电路	(85)
练习与思考	(86)
4.3 复杂交流电路分析	(86)
4.4 正弦交流电路中的功率及功率因数的提高	(88)
4.4.1 有功功率、无功功率、视在功率和功率因数	(88)
4.4.2 功率因数的提高	(89)
4.4.3 正弦交流电路负载获得最大功率的条件	(91)
练习与思考	(92)
4.5 应用实例——日光灯电路	(93)
本章知识结构图	(94)
习题	(94)
第5章 三相交流电路分析	(98)
5.1 对称三相电路分析	(98)
5.1.1 星形—星形系统	(99)
5.1.2 星形—三角形系统	(102)
练习与思考	(104)
5.2 不对称三相电路	(105)
练习与思考	(107)
5.3 三相电路的功率	(107)
练习与思考	(109)
5.4 应用实例——三相电路功率的测量	(109)
本章知识结构图	(110)
习题	(110)

第 6 章 磁路	(113)
6.1 磁场的基本概念	(113)
6.1.1 磁场与磁场方向的判定	(113)
6.1.2 磁场中的基本物理量	(114)
练习与思考	(116)
6.2 磁路的基本概念	(116)
6.2.1 磁路	(116)
6.2.2 磁性材料	(116)
6.2.3 磁路的欧姆定律	(120)
练习与思考	(120)
6.3 自感与互感	(120)
6.3.1 电磁感应	(121)
6.3.2 自感	(122)
6.3.3 互感	(123)
6.3.4 同名端	(125)
练习与思考	(126)
6.4 交流铁芯线圈	(127)
6.4.1 交流铁芯线圈中电压与磁通的关系	(127)
6.4.2 功率损耗	(128)
练习与思考	(128)
6.5 电磁铁	(129)
6.6 应用实例——磁悬浮列车	(130)
本章知识结构图	(132)
习题	(132)
第 7 章 非正弦周期电流电路	(134)
7.1 非正弦信号及谐波分析	(134)
7.1.1 非正弦周期信号	(134)
7.1.2 周期函数分解为傅立叶级数	(135)
7.1.3 非正弦周期信号的频谱(频谱的概念)	(139)
练习与思考	(141)
7.2 非正弦周期量的有效值、平均值和平均功率	(141)
7.2.1 非正弦周期量的有效值	(141)
7.2.2 非正弦周期量的平均值	(142)
7.2.3 非正弦周期量的平均功率	(143)
练习与思考	(145)
7.3 非正弦周期电流电路的计算	(145)
练习与思考	(148)
7.4 应用实例——频谱分析仪	(148)
本章知识结构图	(150)
习题	(150)

第 8 章 动态电路分析	(153)
8.1 过渡过程的基本概念	(153)
8.1.1 稳态与暂态	(153)
8.1.2 换路定律与电路的初始值	(154)
练习与思考	(156)
8.2 一阶电路的响应	(157)
8.2.1 一阶电路的零输入响应	(157)
8.2.2 一阶电路的零状态响应	(160)
8.2.3 一阶电路的全响应	(163)
练习与思考	(164)
8.3 一阶电路的三要素法	(164)
8.3.1 一阶电路的三要素法	(164)
8.3.2 例题分析	(165)
练习与思考	(168)
8.4 应用实例——电路中的操作过电压	(169)
本章知识结构图	(170)
习题	(170)
参考文献	(173)

第1章 直流电路

学习目标:

- (1) 了解电路的作用与组成, 理解电路元件、电路模型的意义。
- (2) 理解电压、电流及参考方向的概念, 了解电动势、电功率的概念。
- (3) 掌握电路中电位的计算。
- (4) 会判断电源和负载。
- (5) 理解三种元件的伏安关系。
- (6) 掌握基尔霍夫定律, 并能利用该定律求解典型电路。

用电常识告诉我们, 无论发电、用电还是控制, 均离不开电路。而电路理论是电工基础的主要部分, 为了研究电路中的规律, 首先要了解什么是电路、电路的组成和电路的作用。

1.1 电路和电路模型

1.1.1 电路

电路是由各种元器件为实现某种应用目的、按一定方式连接而成的整体, 其特征是提供了电流流动的通道。复杂的电路亦可称之为网络。由于电的应用非常广泛, 所以电路的形式也是多种多样、千变万化的, 有长达数千千米的电力线路, 也有小到只有几微米的集成电路。

根据作用, 电路可分为两类:

一类是用于实现电能的传输和转换。例如, 照明电路将电能由电源传输到照明灯, 照明灯将电能转换为光能; 动力电路将电能由电源传输到电动机, 电动机将电能转换为机械能。将电能转换为其他形式能量的元器件或设备统称为负载, 因此电路都是由电源、负载和中间环节(导线、开关等)等三个基本部分组成的。此类电路的电压较高, 电流和功率较大, 习惯称之为“强电”电路。

另一类是用于进行电信号的传递和处理。通过电路把施加的信号(称为激励)转换成所需要的输出信号(称为响应)。例如, 收音机中的调谐电路, 它可以是从发射台发出的不同信号中选出所需要的信号。此类电路的电压较低, 电流和功率较小, 习惯称之为“弱电”电路。

根据电源提供的电流不同, 电路还可以分为直流电路和交流电路两种。

综上所述, 电路主要由电源、负载和中间环节等三部分组成, 如图 1.1 所示手电筒电路即为一个简单的电路组成。电源是提供电能或信号的设备, 负载是消耗电能或输出信号的设备, 电源与负载之间通过中间环节相连接。为了保证电路按不同的需要完成工作, 在电路中还需加入适当的控制元件, 如开

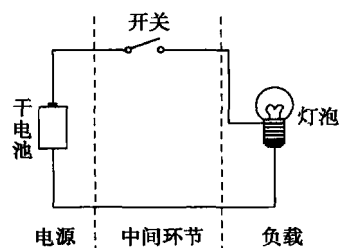


图 1.1 手电筒电路

关、主令控制器等。

1.1.2 电路模型

用于组成电路的电工、电子设备或元器件统称为实际电路元件，用实际元件组成的电路称为实际电路。

一个实际元件往往呈现出多种物理性质，例如，一个用导线绕成的线圈，当有电流通过时不仅产生磁通，形成磁场，而且还会消耗电能。可以看出，线圈不仅具有电感性质，而且具有电阻性质。不仅如此，线圈的匝与匝之间还存在分布电容，具有电容性质。因此，直接分析由实际元件组成的电路是比较复杂的。为了便于分析和数学描述，常常在一定条件下对实际元件理想化，从实际元件中抽象出一些理想化的电路元件，如用来表征将电能转换成热能的叫电阻器，用来表征电场储能现象的叫电容器，用来表征磁场储能现象的叫电感器等。

某一种实际元件在一定条件下，常忽略其他现象只考虑起主要作用的电磁现象，也就是用理想元件来替代实际元件的模型，这种模型称之为电路元件，又称理想电路元件。它实际是一种数学模型。例如前面所述的线圈，如果忽略其电阻和电容性质，就成为具有电感性质的元件，称为理想电感元件。

用一个或几个理想电路元件构成的模型去模拟一个实际电路，模型中出现的电磁现象与实际电路中的电磁现象十分接近，这个由理想电路元件组成的电路称为电路模型。由于电路模型与实际电路是等效的，因此又称为等效电路。

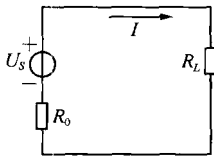


图 1.2 电路模型

建立电路模型给实际电路的分析带来了很大的方便，是研究电路问题的常用方法。

如图 1.2 所示电路为图 1.1 手电筒电路的电路模型。

1.2 电路的基本物理量

电路的作用是进行电能与其他形式能量之间的相互转换。实际工作中必须用一些物理量来表示电路的状态及电路中各部分之间能量转换的相互关系。这些物理量主要有电流、电压、电位、电动势、电功率等。认识和了解这些物理量，是分析和计算电路的基础。

1.2.1 电流及其参考方向

带电质点的定向移动形成电流。如金属导体中的自由电子受到电场力的作用，逆着电场方向做定向移动，从而形成了电流。

电流的大小等于单位时间内通过导体横截面的电荷量。电流的实际方向习惯上是指正电荷移动的方向。在外电路，电流由正极流向负极；在电源内部，电流则由负极流向正极。

电流分为两类：一类是大小和方向均不随时间变化的，称为恒定电流，简称直流，用 I 表示；另一类是大小和方向均随时间变化的，称为交变电流，简称交流，用 i 表示。

对于直流电流，单位时间内通过导体截面的电荷量是恒定不变的，其大小为

$$I = \frac{Q}{T} \tag{1-1}$$

对于交变电流，若在一个无限小的时间间隔 dt 内，通过导体横截面的电荷量为 dq ，则该

瞬间的电流为

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1-2)$$

在国际单位制 (SI) 中, 电流的单位是安培 (简称安, A)。

在如图 1.2 所示的简单电路中, 电流的实际方向可根据电源的极性直接确定。而在复杂电路中, 电流的实际方向有时难以确定。为了便于分析计算, 引入了电流参考方向的概念。

所谓电流的参考方向, 就是在分析计算电路时, 先任意选定某一方向, 作为待求电流的方向, 并根据此方向进行分析计算。若计算结果为正, 说明电流的参考方向与实际方向相同; 若计算结果为负, 说明电流的参考方向与实际方向相反。如图 1.3 所示表示了电流的参考方向 (图中虚线所示) 与实际方向 (图中实线所示) 之间的关系。

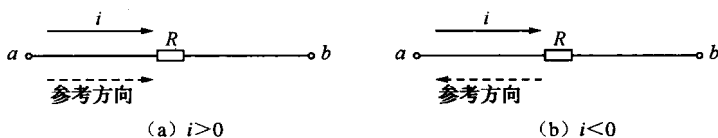


图 1.3 电流参考方向与实际方向

【例 1.1】 如图 1.4 所示, 电流的参考方向已标出, 并已知 $I_1 = -1\text{A}$, $I_2 = 1\text{A}$, 试指出电流的实际方向。

解 $I_1 = -1\text{A} < 0$, 则 I_1 的实际方向与参考方向相反, 应由点 B 流向点 A。

$I_2 = 1\text{A} > 0$, 则 I_2 的实际方向与参考方向相同, 由点 B 流向点 A。

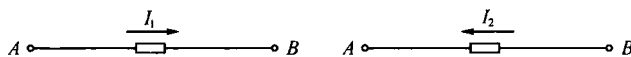


图 1.4 例 1.1 图

1.2.2 电压及其参考方向

在电路中, 电场力把单位正电荷 (q) 从 a 点移到 b 点所做的功 (W) 就称为 a 、 b 两点间的电压, 也称电位差, 即为

$$u_{ab} = \frac{dW}{dq} \quad (1-3)$$

对于直流, 则为

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

在国际单位制 (SI) 中, 电压的单位为伏特 (简称伏, V)。

电压的实际方向规定从高电位指向低电位, 其方向可用箭头表示, 也可用 “+”、“-” 极性表示, 如图 1.5 所示。它还可以用双下标表示, 如 U_{ab} 表示 a 指向 b 。显然 $U_{ab} = -U_{ba}$ 。值得注意的是电压总是针对电路中的两点而言。



图 1.5 电压参考方向的设定

和电流的参考方向一样，也需设定电压的参考方向。电压的参考方向也是任意选定的，当参考方向与实际方向相同时，电压值为正；反之，电压值则为负。

【例 1.2】 如图 1.6 所示，电压的参考方向已标出，并已知 $U_1=1\text{V}$ ， $U_2=-1\text{V}$ ，试指出电压的实际方向。

解 图 1.6 (a) 中， $U_1=1\text{V}>0$ ，则 U_1 的实际方向与参考方向相同，由 A 指向 B。

图 1.6 (b) 中， $U_2=-1\text{V}<0$ ，则 U_2 的实际方向与参考方向相反，应由 A 指向 B。

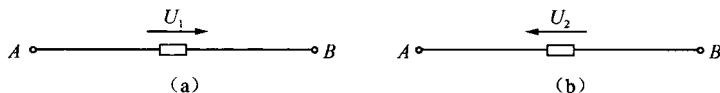


图 1.6 例 1.2 图

还要特别指出的是，电流与电压的参考方向原本可以任意选择，彼此无关。但为了分析方便，对于负载，一般把两者的参考方向选为一致，称之为关联参考方向；对于电源，一般把两者的参考方向选择为相反，则称之为非关联参考方向。

1.2.3 电位

在电工技术中，大都使用电压的概念，例如，日光灯的电压为 220V，干电池的电压为 1.5V 等。而在电子技术中，经常要用到电位的概念。

在电路中任选一点作为参考点，则电路中某一点与参考点之间的电压称为该点的电位。

一般规定参考点的电位为零，因此参考点也称零电位点。这样电位也可定义为：电场力把单位正电荷从某一点移到零电位点所做的功就等于该点的电位。电位用符号 V 或 v 表示。例如 A 点的电位记为 V_A 或 v_A 。显然， $V_A=V_{A0}$ ， $v_A=v_{A0}$ 。

在国际单位制 (SI) 中，电位的单位是伏特 (V)。

电位具有相对性和单值性。电位的相对性是指：电位随参考点选择而异，参考点不同，即使是电路中的同一点，其电位值也不同。电位的单值性是指：参考点一经选定，电路中各点的电位即为一确定值。和电压一样，电位也是一个代数量，凡比参考点电位高的各点为正电位，比参考点电位低的各点为负电位。

电路中的参考点可任意选定。当电路中有接地点时，则以地为参考点。若没有接地点时，则选择较多导线的汇集点为参考点。在电子线路中，通常以设备外壳为参考点。参考点用符号 “ $\perp$ ” 表示。

有了电位的概念后，电压也可用电位来表示，即

$$\left. \begin{aligned} U_{AB} &= V_A - V_B \\ u_{AB} &= v_A - v_B \end{aligned} \right\} \quad (1-5)$$

因此，电压也称为电位差。

还需指出，电路中任意两点间的电压与参考点的选择无关。即对于不同的参考点，虽然各点的电位不同，但任意两点间的电压始终不变。

【例 1.3】 如图 1.7 所示的电路中，已知各元件的电压为： $U_1=10\text{V}$ ， $U_2=5\text{V}$ ， $U_3=8\text{V}$ ， $U_4=-23\text{V}$ 。若分别选择 A、B、C 和 D 点为参考点，试求电路中各点的电位。

解 (1) 选 A 点为参考点, 则 $V_A=0$

$$V_B = U_{BA} = U_1 = 10\text{V}$$

$$V_C = U_{CA} = U_{CB} + U_{BA} = U_2 + U_1 = 5 + 10 = 15\text{V}$$

或 $V_C = U_{CA} = U_{CD} + U_{DA} = -U_3 - U_4 = -8 - (-23) = 15\text{V}$

$$V_D = U_{DA} = -U_4 = 23\text{V}$$

(2) 选 B 点为参考点, 则 $V_B=0$

$$V_A = U_{AB} = -U_1 = -10\text{V}$$

$$V_C = U_{CB} = U_2 = 5\text{V}$$

$$V_D = U_{DB} = U_{DC} + U_{CB} = U_3 + U_2 = 8 + 5 = 13\text{V}$$

(3) 选 C 点为参考点, 则 $V_C=0$

$$V_A = U_{AC} = U_{AB} + U_{BC} = -U_1 - U_2 = -10 - 5 = -15\text{V}$$

或 $V_A = U_{AC} = U_{AD} + U_{DC} = U_4 + U_3 = -23 + 8 = -15\text{V}$

$$V_B = U_{BC} = -U_2 = -5\text{V}$$

$$V_D = U_{DC} = U_3 = 8\text{V}$$

(4) 选 D 点为参考点, 则 $V_D=0$

$$V_A = U_{AD} = U_4 = -23\text{V}$$

$$V_B = U_{BD} = U_{BC} + U_{CD} = -U_2 - U_3 = -5 - 8 = -13\text{V}$$

或 $V_B = U_{BD} = U_{BA} + U_{AD} = U_1 + U_4 = 10 - 23 = -13\text{V}$

$$V_C = U_{CD} = -U_3 = -8\text{V}$$

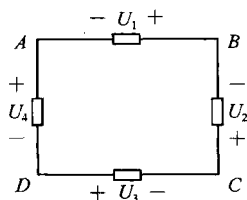


图 1.7 例 1.3 图

1.2.4 电动势

在电路中, 正电荷在电场力的作用下由高电位移到低电位, 形成电流。要维持电流, 还必须要有非电场力把单位正电荷从低电位推到高电位。这种非电场力就是电源力 (在各类电源内部就存在着这种力, 例如干电池中的化学力、发动机内部的电磁力等), 电源力把单位正电荷由低电位点 B 经电源内部移到高电位点 A 克服电场力所做的功, 称为电源的电动势。电动势用 E 或 e 表示, 即

$$\left. \begin{aligned} E &= \frac{W}{Q} \\ e &= \frac{dw}{dq} \end{aligned} \right\} \quad (1-6)$$

在国际单位制 (SI) 中, 电动势的单位也是伏特 (V)。

电动势与电压的物理意义不同。电压是衡量电场力做功的能力, 而电动势是衡量电源力做功的能力。电动势与电压的实际方向不同, 电动势的方向是从低电位指向高电位, 即由 “-” 极指向 “+” 极; 而电压的方向则从高电位指向低电位, 即由 “+” 极指向 “-” 极。此外, 电动势只存在于电源的内部。

1.2.5 功率

单位时间内电场力或电源力所做的功, 称为功率, 用 P 或 p 表示。即

$$\left. \begin{aligned} P &= \frac{W}{T} \\ p &= \frac{dw}{dt} \end{aligned} \right\} \quad (1-7)$$

若已知元件的电压和电流，功率的表达式则为

$$\left. \begin{aligned} P &= UI \\ p &= ui \end{aligned} \right\} \quad (1-8)$$

在国际单位制 (SI) 中，功率的单位是瓦特 (W)。

如前所述，由于电压、电流皆为代数量，因此，由式 (1-8) 所计算的功率也是代数量。

当电流、电压为关联参考方向时，式 (1-8) 表示元件消耗能量。若计算结果为正，说明电路确实消耗功率，为耗能元件；若计算结果为负，说明电路实际产生功率，为供能元件。

当电流、电压为非关联参考方向时，则式 (1-8) 表示元件产生能量。若计算结果为正，说明电路确实产生功率，为供能元件；若计算结果为负，说明电路实际消耗功率，为耗能元件。

【例 1.4】 (1) 在图 1.8 中，若电流均为 2A， $U_1=1V$ ， $U_2=-1V$ ，求该两元件消耗或产生的功率。

(2) 在图 1.8 (b) 中，若元件产生的功率为 4W，求电流 I 。

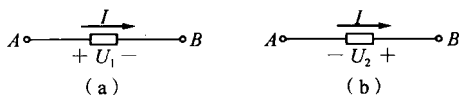


图 1.8 例 1.4 图

解 (1) 对图 1.8 (a)，电流、电压为关联参考方向，元件消耗的功率为

$$P = U_1 I = 1 \times 2 = 2W > 0$$

表明元件消耗功率，为负载。

对图 1.8 (b)，电流、电压为非关联参考方向，元件产生的功率为

$$P = U_2 I = (-1) \times 2 = -2W < 0$$

表明元件消耗功率，为负载。

(2) 因图 1.8 (b) 中电流、电压为非关联参考方向，且是产生功率，故

$$P = U_2 I = 4W$$

$$I = \frac{4}{U_2} = \frac{4}{-1} = -4A$$

负号表示电流的实际方向与参考方向相反。

前面已介绍了电路中几个基本物理量的 SI 单位，如安 (A)、伏 (V)、瓦 (W) 等。在实际应用中，有时嫌这些单位太小或太大，通常可在这些单位前加上相关的词冠，构成所需实用单位。例如，1mA (毫安) = $1 \times 10^{-3}A$ ，2kV (千伏) = 2×10^3V 等。

练习与思考

(1) 为什么规定电流、电压的参考方向？何谓关联参考方向？

(2) 在如图 1.9 所示电路中, U_{ab} 为 ()。

- A. 10V B. 2V C. -2V D. -10V

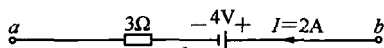


图 1.9

(3) 电路如图 1.10 所示, A 点的电位 V_A 应为 () V。

- A. -10 B. -6 C. -5 D. 0

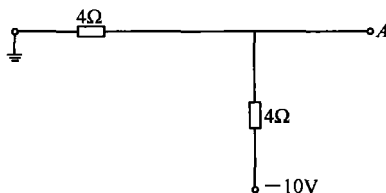


图 1.10

1.3 电路的工作状态

在实际用电过程中, 根据不同的需要和不同的负载情况, 电路有不同的状态。这些不同的状态表现为电路中电流、电压及功率分配情况的不同。应该注意的是, 其中有的状态并不是正常的工作状态而是事故状态, 应尽量避免和消除。因此, 了解和掌握使电路处于不同状态的条件和特点是正确、安全用电的前提。电路的工作状态有三种: 开路状态、负载状态和短路状态。

1.3.1 开路状态 (空载状态)

在如图 1.11 所示电路中, 当开关 S 断开时, 电源处于开路状态。开路时, 电路中电流为零, 电源不输出能量, 电源两端的电压称为开路电压, 用 U_{OC} 表示, 其值等于电源电动势 E , 即

$$U_{OC} = E$$

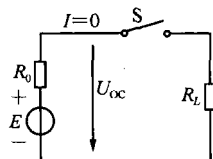


图 1.11 开路状态

1.3.2 短路状态

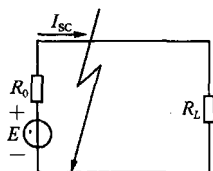


图 1.12 短路状态

在如图 1.12 所示电路中, 当电源两端由于某种原因短接在一起时, 电源则被短路。短路电流 $I_{sc} = \frac{E}{R_0}$ 很大, 此时电源所产生的电能全被内阻 R_0 所消耗。

短路通常是严重的事故, 应尽量避免发生。为了防止短路事故, 通常在电路中接入熔断器或断路器, 以便在发生短路时能迅速切断故障电路。

1.3.3 负载状态 (通路状态)

电源与一定大小的负载接通, 称为负载状态。这时电路中流过的电流称为负载电流, 如图 1.13 所示。

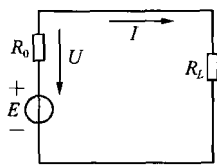


图 1.13 负载工作状态

负载的大小是以消耗功率的大小来衡量的。当电压一定时，负载的电流越大，则消耗的功率亦越大，则负载也越大。

为使电气设备正常运行，在电气设备上都标有额定值。额定值是生产厂为了使产品能在给定的工作条件下正常运行而规定的正常允许值。一般常用的额定值有：额定电压、额定电流、额定功率，分别用 U_N 、 I_N 、 P_N 表示。

需要指出的是，电气设备实际消耗的功率不一定等于额定功率。当实际消耗的功率 P 等于额定功率 P_N 时，称为满载运行；若 $P < P_N$ ，称为轻载运行；而当 $P > P_N$ 时，称为过载运行。电气设备应尽量在接近额定值的状态下运行。

练习与思考

- (1) 电路有哪几种状态？其中哪一种状态下电路中会有大电流而应尽量避免？
- (2) 额定值是什么？一般电气设备常用的额定值有哪些？

1.4 电路基本元件

1.4.1 电阻元件

1. 电阻与电导的概念

电阻是电路中不可缺少的元件，它是一个理想元件，也就是说在不考虑其他电磁现象的情况下，仅剩其电阻性质的元件。

电阻的性质可分为线性、非线性。在物理的电学中已讲过欧姆定律，该定律研究的对象就是线性电阻元件，具体内容如下：流过线性电阻的电流与其两端的电压成正比，即

$$\frac{u}{i} = R \quad (u、i \text{ 关联}) \quad (1-9)$$

$$-\frac{u}{i} = R \quad (u、i \text{ 非关联}) \quad (1-10)$$

在国际单位制 (SI) 中，式中 R 称为电阻，单位为欧姆 (简称欧， Ω)；

非线性电阻是指流过电阻的电流与其两端的电压是非线性关系。

导体的电阻不仅和导体的材质有关，而且还和导体的尺寸有关。实验证明，同一材料导体的电阻和导体的截面积成反比，而和导体的长度成正比。也就是说，导体的截面积越大，电阻就越小；导体越长，电阻就越大。

为了方便计算，我们常常把电阻的倒数用电导 G 来表示，即

$$G = \frac{1}{R} \quad (1-11)$$

在国际单位制 (SI) 中，电导 G 的单位为西门子 (简称西，S)。

2. 电阻的伏安特性

对于线性电阻元件，其电路模型如图 1.14 (a) 和图 1.14 (b) 所示。其特性方程为