



高等职业技术教育教材

电工技术基础

© 王运哲 / 主编

(电 类 专 业 通 用)



东南大学出版社

高等职业技术教育教材

电工技术基础

(电类专业通用)

主编	王运哲	
编者	王运哲	郑晓峰
	吴南星	周元一
主审	储克森	

东南大学出版社

南京

内 容 简 介

本书从“必须、实用、够用、能用”出发,不过分强调理论的系统性、严密性和完整性。全书分三大模块共14章。第一必修模块:电路基本概念与基本定律,直流电阻电路,电容与电感、正弦电流电路,三相交流电路,线性动态电路时域分析;第二选修模块:非线性电阻电路,互感耦合电路,正弦谐振电路,非正弦周期电流电路,铁心线圈电路;第三扩充模块:受控电源电路分析,线性无源双口网络和网络图论简介。各章均编有习题。

本书可作为高职高专电类专业通用教材,也可供高级技师培训之用。

图书在版编目(CIP)数据

电工技术基础/王运哲主编. - 南京:东南大学出版社,
2004.3

ISBN 7-81089-397-1

I. 电... II. 王... III. 电工技术—高等学校—
教材 IV. TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 003192 号

电工技术基础

出版发行 东南大学出版社(南京市四牌楼2号 邮编210096)

网 址 <http://press.seu.edu.cn>

电 话 (025)83793801(发行),57711295(传真)

出 版 人 宋增民

责任编辑 施 恩

电子信箱 shi_en@eyou.com

经 销 江苏新华集团股份有限公司

排 版 南京文苑图文制作中心

印 刷 通州市印刷总厂有限公司

版 次 2004年3月第1版 2004年3月第1次印刷

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 18.5

字 数 468千字

印 数 1~4 000册

定 价 26.00元

(凡东大版图书因印装质量问题,请直接向发行部调换。电话:025-83793801)

前 言

随着教育改革的深入和现代化建设的需要,高等职业教育得到了迅速发展。为了适应新形势,教材的改革和建设显得十分重要和非常迫切。

高等职业教育虽属大专层次,但其教材建设,不应与普通高校大专完全相同,应显示自身的理论规律与技术特色,其深度、广度、难度的分寸掌握需要认真研究和深入讨论(相应的专业课也理应如此)。高等职业教育的教材建设,应看成是一项新的系统工程!

我们参照了高等学校的电路、电路分析基础等教材和自己的教学实践,编写了这本高等职业技术教育电类专业通用的、相当于《电工原理》的校技术基础课《电工技术基础》,以适应大专水平的教学需要。

与传统意义上的《电工原理》或《电工基础》相比,本书编写的指导思想更偏重于“必须、实用、够用、能用”。因此,就不过分强调理论的系统性、严密性和完整性了。在进行电路分析时,简化理论推导,多举实例,突出工程应用,以培养学生的实际工作能力。

本书共分三个部分:第一部分为必修模块,属基本内容;第二部分为选修模块,可根据电类不同专业任选3~4章后纳入必学内容;第三部分为扩充模块,可作为扩大知识面的自学内容。第一部分为80学时,第二部分为40学时。这两部分总学时约120学时。若精减带“*”内容后也可供五年制高职学校使用。

本书由安徽机电职业技术学院王运哲担任主编,编写分工如下:由郑晓峰编1、2章,吴南星编3、4章,周元一编5、6章,其余各章由王运哲编写。储克森担任主审。

书中全部插图由李旭东设计并绘制。

由于水平所限,不妥之处,敬请使用者指正,谢谢!

编 者

目 录

第一部分 必修模块

1 电路的基本概念和基本定律	(1)
1.1 实际电路与电路模型	(1)
1.2 电流、电压及其参考方向	(2)
1.3 电阻元件	(7)
1.4 电压源与电流源	(13)
1.5 欧姆定律	(14)
1.6 基尔霍夫定律	(19)
1.7 实际电源的等效变换	(21)
1.8 电功率及电气设备额定值	(24)
1.9 电路运行状态, 负载获最大功率条件	(26)
习题 1	(29)
2 直流电阻电路	(33)
2.1 电阻串、并联等效简化法	(33)
2.2 复杂电路简述	(37)
2.3 电阻 Y- Δ 联接的等效变换	(38)
2.4 支路电流法(支路法)	(40)
2.5 网孔电流法(网孔法)	(42)
2.6 节点电压法(节点法)	(44)
2.7 叠加原理	(47)
2.8 戴维南定理和诺顿定理	(49)
习题 2	(54)
3 电容·电感	(58)
3.1 电容器与电容元件	(58)
3.2 电容元件的数学模型	(58)
3.3 电容元件上电流与电压的关系	(59)
3.4 电容的联接	(60)
3.5 常见电容器简介	(63)
3.6 电场能量	(65)
3.7 电感线圈与电感元件	(66)
3.8 电感元件上电压与电流关系	(67)
3.9 常用电感器简介	(68)
3.10 磁场能量	(68)
习题 3	(69)

4	正弦电流电路	(72)
4.1	正弦交流电压的产生	(72)
4.2	正弦交流电“三要素”	(74)
4.3	交流电的有效值和平均值	(77)
4.4	正弦量的相量表示法	(79)
4.5	电阻元件接通正弦交流电	(82)
4.6	电感元件接通正弦交流电	(85)
4.7	电容元件接通正弦交流电	(88)
4.8	电阻、电感串联电路	(91)
4.9	R 、 L 、 C 串联电路	(93)
4.10	多阻抗串联电路	(96)
* 4.11	复数阻抗并联电路及复数导纳	(98)
4.12	正弦电流电路的功率	(102)
4.13	功率因数的提高	(106)
4.14	直流电路网络理论在正弦交流电路中的推广	(108)
* 4.15	交流电路的实际参数	(111)
	习题 4	(113)
5	三相交流电路	(116)
5.1	三相交流电压的产生	(116)
5.2	三相电源绕组的联接	(118)
5.3	负载星形接法的三相电路	(120)
5.4	负载三角形接法的三相电路	(128)
5.5	三相电路的功率	(131)
	习题 5	(135)
6	线性动态电路时域分析	(137)
6.1	基本概念	(137)
6.2	R - C 串联电路零输入响应	(140)
6.3	直流激励下 R - C 串联电路的零状态响应	(144)
6.4	直流激励下 R - C 串联电路的全响应及三要素法	(147)
6.5	波形变换电路	(150)
6.6	直流激励下 R - L 串联电路的零状态响应	(152)
6.7	R - L 串联电路的零输入响应	(154)
6.8	R - L 电路的全响应及三要素法	(157)
6.9	R - L 串联电路的断开	(159)
* 6.10	正弦激励下 R - L 串联电路的零状态响应	(161)
* 6.11	二阶动态电路简介	(164)
	习题 6	(167)

第二部分 选修模块

7 非线性电阻电路	(171)
7.1 基本概念	(171)
7.2 非线性电阻元件的分类	(171)
7.3 静态电阻与动态电阻	(173)
7.4 非线性电阻元件的串、并联	(174)
7.5 具有非线性电阻元件的直流电路的计算	(176)
习题 7	(178)
8 互感耦合电路	(179)
8.1 互感系数与互感电压	(179)
8.2 互感线圈的同名端及互感电压参考方向的标定	(180)
8.3 具有互感的线圈电压平衡方程式	(183)
8.4 两个互感线圈串联	(183)
8.5 两个互感线圈并联	(186)
8.6 可变电感器·无感线圈	(189)
8.7 空心变压器	(190)
8.8 理想变压器	(193)
习题 8	(195)
9 正弦谐振电路	(199)
9.1 串联谐振的条件与特征	(199)
9.2 串联谐振电路的频率特性	(202)
9.3 谐振电路的选择性与通频带	(203)
9.4 并联谐振的条件与特征	(204)
习题 9	(209)
10 非正弦周期电流电路	(211)
10.1 非正弦周期量的产生	(211)
10.2 非正弦量的合成与分解	(212)
10.3 非正弦周期曲线的种类	(213)
10.4 线性非正弦周期电流电路的计算	(216)
10.5 非正弦周期量的有效值、平均值及功率	(219)
10.6 滤波电路简介	(223)
习题 10	(225)
11 铁心线圈电路	(227)
11.1 铁磁材料的磁化	(227)
11.2 磁路定律	(230)
11.3 直流无分支磁路	(233)
11.4 交流铁心线圈中的磁通和电流	(236)

11.5	交流铁心线圈的铁心损耗	(237)
11.6	铁心线圈中电流、电压和磁通的波形	(240)
11.7	交流铁心线圈的等效电路	(241)
11.8	电磁铁	(244)
习题 11		(247)

第三部分 扩充模块

12	受控电源电路分析	(249)
12.1	受控源基本概念及模型的建立	(249)
12.2	受控源电路的一般分析法	(252)
* 12.3	应用叠加原理和戴维南定理求解含受控源电路	(255)
习题 12		(261)
* 13	线性无源双口网络简介	(264)
13.1	基本概念	(264)
13.2	无源双口网络方程式及其参数	(265)
13.3	双口网络等效电路	(272)
13.4	端接双口网络	(275)
习题 13		(277)
* 14	网络图论简介	(278)
14.1	概述	(278)
14.2	电网络的线图	(278)
14.3	电网络割集分析法	(281)
14.4	电网络的回路分析法	(284)
习题 14		(287)
后记		(288)

第一部分 必修模块

1 电路的基本概念和基本定律

1.1 实际电路与电路模型

1.1.1 实际电路的构成和作用

实际电路是为了实现某种特定要求,由电源设备、用电器具、导线等相互联接而成。电气设备的运行、家用电器的使用,都必须有电流的作用。产生电流的一个必要条件,就是要构成闭合路径。电流通过的路径称为“电路”。图 1.1.1 和图 1.1.2 就是两个实际电路的例子。

图 1.1.1 是手电筒电路。开关闭合后,电流从电源(这里是电池)的一端经过负载(这里是电珠)沿着导体(这里是金属筒壁)回到电源的另一端,电池将非电能——化学能转换成电能,电珠将它吸收的电能转换为非电能——光能。

电工技术中把提供电能的设备或器件称为“电源”,把吸收电能的设备或器件称为“负载”。电力系统中,发电厂内的发电机组是电源,经传输导线将电能传送给各用电单位(用户)即负载。电力系统可看成一个复杂电路。

图 1.1.2 是一个最简单的收音机电路。该电路将施加的电信号——线圈感应出的电压,变换或“加工”成传递给耳机的电信号,耳机接收电信号发出声音。这类电路主要是把输入的电信号转换成输出的电信号,通常把输入电路的信号称为“激励”,把输出的电信号称为“响应”。电讯系统进行的也是类似的处理,它也是一个较为复杂的电路。

电力系统(强电)和电讯系统(弱电)的广阔领域中,如发配电、自动控制、电子计算机、电子设备等方面,为了实现不同要求,有着各式各样具体的实际电路。总起来说,电路的作用主要有两个方面:一是电能的输送和变换,二是电信号的传递和处理。

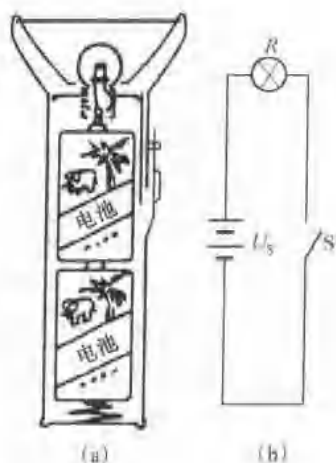


图 1.1.1

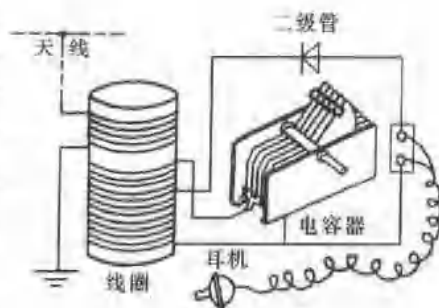


图 1.1.2

1.1.2 电路模型

为了便于对各类具体电路进行研究,在电气工程技术中常用一些理想电路元件及其组合来表征电气设备、电工器件的主要电性能。如表 1.1.1 中所列就是常用的几种理想电路元件及其图形符号。所谓理想电路元件,就是把实际电器件忽略次要性质,只表征其一种主要电性能的“理想化”了的“元件”。如实际的白炽灯,可以用一个理想化的电阻元件来代替,而一个电动机负载可以用一个理想电阻元件和一个理想电感元件来表示。

用理想元件及其不同组合来代替实际电路中的电气设备和电器件,便形成与该实际电路所对应的“电路模型”。今后本书未加特殊说明时所说的“电路”均指这种理想的电路模型,所说的“电路元件”也都是理想元件。

1.2 电流、电压及其参考方向

不论电力的输送和转换,还是信号的传递和处理,常离不开电流和电压这两个物理量。所以在对电路进行分析或计算之前,需要再认识一下这两个基本物理量。电流和电压在物理学中已经讲过,这里的再认识,是要强调它们的参考方向(正方向)。

1.2.1 电流(I)

电荷的定向运动形成电流。在金属导体内电流是自由电子的定向运动形成的。

对直流电流

$$I = \frac{Q}{t} \quad (1.2.1)$$

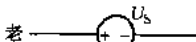
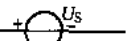
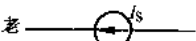
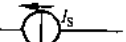
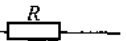
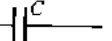
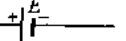
对时变电流

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1.2.2)$$

式中 I 和 i 分别为直流电流和时变电流[或写成 $I(t)$] 的文字符号; Q 和 dq 分别为在时间 t 和 dt 内通过导体的电荷量。

在国际单位制(SI)中,电荷量的单位是库(C);时间的单位是秒(s);电流的单位是安(A)。若需要使用较大或较小的单位时,采用在 SI 单位上加 SI 词头。如电流的单位还可用千安(kA)、毫安(mA)或微安(μA);时间的单位也可用毫秒(ms)或微秒(μs)等。常用的词头如表 1.2.1 所示。

表 1.1.1 常用电路元件及符号

元件名称	模 型 符 号
理想电压源	老 
	新 
理想电流源	老 
	新 
电 阻	
电 感	
电 容	
电 池	

(注:电池是实际电源,如内电阻不计,可看成理想电压源)

表 1.2.1 构成十进倍数和分数单位的常用词头

因数	词头	词头符号	因数	词头	词头符号
10^6	兆	M	10^{-2}	厘	c
10^3	千	k	10^{-3}	毫	m
10^2	百	h	10^{-6}	微	μ
10^1	十	da	10^{-12}	皮	p

下面着重研究电流的方向问题。电流“实际方向”规定为正电荷流动的方向。对金属导体来说,流动的是自由电子(负电荷),所以电流的“实际方向”是电子流动的反方向(如无特殊需要,今后只讲电流方向而不讲电子流动方向)。这些在物理学中都已讲过。下面将强调指出关于电流“参考方向”(正方向)的规定。

在电路中,有时对电流的实际方向很难预先准确判断;有时电流的实际方向随时间在不断地变化,如交变(时变)电流就是这样。这就是说,在电路中难以标出电流的实际方向,为了分析与计算方便,引入了电流“参考方向”。

如图 1.2.1 所示,图中箭头是任意指定的该段电路中电流的“参考方向”(即规定电流为正值的流向,所以也可称为“正方向”)。显然,这个方向不一定就是电流的实际方向。在规定了参考方向后,电流成为代数量:当电流值大于零($I > 0$),则电流的实际方向与参考方向一致;当电流值小于零($I < 0$),则电流的实际方向与参考方向相反。这样,在规定的电流参考方向下,由计算出的电流值的正负,电流的实际方向也就知道了。

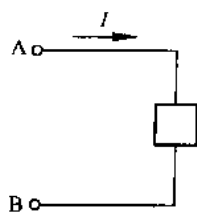


图 1.2.1

例如,对图 1.2.1 所选定的电流参考方向下,已算出电流 $I = 5\text{ A}$,可知这 5 安的电流实际方向是由 A 端流向 B 端;如果算出的电流 $I = -5\text{ A}$,说明电流的实际方向与选定的参考方向相反,那么这 5 安的电流实际方向是从 B 端流向 A 端。

必须指出,电流的参考方向可以任意假定,而电流的实际方向是客观存在的,不会因参考方向选取不同而改变。今后电路图上所标定的都是任意选取的电流参考方向。本书将电流的(参考)方向标在所流经的电路段的旁侧。

[例 1.2.1] 如图 1.2.2 所示的一段电路上的电流参考方向已选定,对图(a)已知 $I_A = -10\text{ A}$;对图(b)已知 $I_B = 8\text{ A}$,试指出电流的实际方向。

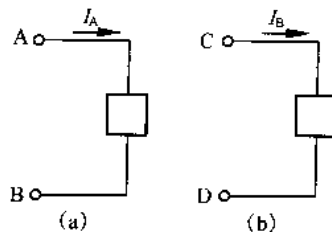


图 1.2.2

[解] 对图(a) $I_A < 0$,实际方向与参考方向相反,电流实际方向由 B 端流向 A 端;对图(b) $I_B > 0$,实际方向与参考方向相同,电流实际方向由 C 端流向 D 端。电流实际方向是不必在图上标出的。

1.2.2 电压(U)

电荷在电场中受到电场力的作用而运动。如图 1.2.3,以均匀电场为例,正电荷 Q 在电场力 F 的作用下,从 A 点移到 B 点所经过的垂直距离为 l_{AB} ,则 A、B 两点之间的电压定

义为

$$U_{AB} = \frac{F l_{AB}}{Q} \quad (1.2.3)$$

由定义式(1.2.3)可知:任意两点之间的电压,等于单位正电荷在电场力作用下从一点移到另一点所做的功。在 SI 单位制中电荷的单位是库(C),电场力的单位是牛(N),距离长度的单位是米(m),则电压的单位是伏(V)。

电荷受电场力作用而移动是有方向的。正电荷与负电荷在同一电场中受力的方向是相反的,从这个意义上说,电压也是有方向的。电压的“实际方向”就是正电荷受电场力移动方向。如图 1.2.3 中电压 U_{AB} 的实际方向是由 A 点指向 B 点。应当指出:只要有电场存在,电场中两点之间的电压就客观存在,而与受力电荷的存在与否无关。就一段电路而言,如果处在正负两电极之间,也会在该段电路中形成电场,任意两点之间就有电压存在。

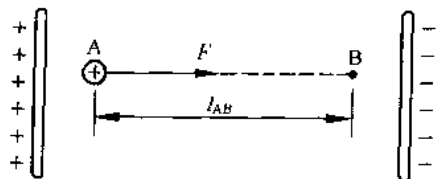


图 1.2.3

有时,电压的实际方向在电路中很难标出。和对待电流一样,可以在所研究的电路两点之间任意选定一个方向为“参考方向”,在电压参考方向下,再依据电压值的正负,就可以确定电压的实际方向。电压实际方向不必标出。两点间电压的标法可以用箭头,也可用正负号,本书一般情况下用箭头来标注参考方向。

如图 1.2.4 所示,在一段电路上选定电压的参考方向由 A 点指向 B 点(注意:与电流参考方向标法不同)。若某一电压值大于零($U > 0$),则电压的实际方向与参考方向相同;如果某电压值小于零($U < 0$),则该电压的实际方向与参考方向相反。实际方向是客观存在的,它不因电压参考方向的不同选取而改变,由上述可知,若采用双下标来写电压则 $U_{AB} = -U_{BA}$ 。

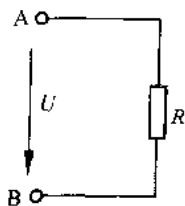


图 1.2.4

【例 1.2.2】 如图 1.2.4 所示的电压参考方向下,若已知 $U = -100 \text{ V}$,试回答电压的实际方向。

【解】 因为 $U < 0$,电压的实际方向与参考方向相反,由 B 指向 A。

1.2.3 电位(φ)

除电压之外,在电路分析中还常使用电位(φ)这个物理量(在物理学中把电位称为电势,所用符号也不同)。在电路中,若指定某点(可任意)为参考点,则把电路中其他点到参考点的电压称为该点的电位。假设参考点为 O, A 是电路中任意一点,则 A 点的电位为

$$\varphi_A = U_{AO}$$

某点的电位就是该点到参考点之间的电压,这就是说,求电位的问题实质上就是求电压的问题。

电位参考点也称零电位点,即 $\varphi_O = 0$ 。电路中的参考点可以任意选取,但同一电路中只能选一个参考点(如接地或设备的外壳)。当电位参考点确定后,电路中各点的电位也只有一个数值,称“电位单值性”。比零电位高的点为正电位点,比零电位点低的点称负电位

点。

下面简要说明一下,电路中任意两点 A 和 B 的电位(φ_A 和 φ_B)与这两点间的电压(U_{AB})的关系。

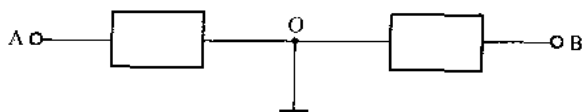


图 1.2.5

如图 1.2.5 所示的一段电路中,取 O 为电位参考点,图中符号($\perp$)表示接地。由电位定义可知:

$$\varphi_A = U_{AO} \quad \varphi_B = U_{BO}$$

则两点电位之差为

$$\begin{aligned} \varphi_A - \varphi_B &= U_{AO} - U_{BO} \\ &= U_{AO} + U_{OB} \\ &= U_{AB} \end{aligned}$$

这里的 $U_{AO} + U_{OB}$ 就是将单位正电荷从 A 点经 O 点再移到 B 点电场力做的功,也就是 A、B 两点间的电压,可写成:

$$U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B \quad (1.2.4)$$

这就是说,某两点之间的电压,就是该两点电位之差。一般电压用两个字母标注下脚,电位用一个字母标注下脚。电位的单位不难看出和电压一样,也是伏(V)。在引入电位概念后,就可以说,电压的实际方向是由高电位点指向低电位点。

需要指出:当所选的电位参考点变动时,各点的电位值也做相应的变化,但电路中两点间的电压不会改变。这一点不难理解,各点电位值做相同的变化,不会影响它们的差值。

[例 1.2.3] 如图 1.2.6 所示一段电路,已知: $U_{CO} = 3\text{ V}$, $U_{CD} = 2\text{ V}$,若分别以“O”或“C”作电位参考点,求两种情况下 C、D、O 三点的电位及电压 U_{OD} 。

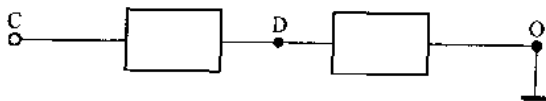


图 1.2.6

[解]

(1) 取“O”为电位参考点,即 $\varphi_O = 0$

因为

$$U_{CO} = \varphi_C - \varphi_O$$

所以

$$\varphi_C = U_{CO} + \varphi_O = 3 + 0 = 3\text{ V}$$

又因

$$U_{CD} = \varphi_C - \varphi_D$$

所以

$$\varphi_D = \varphi_C - U_{CD} = 3 - 2 = 1\text{ V}$$

这时

$$U_{OD} = \varphi_O - \varphi_D = 0 - 1 = -1\text{ V}$$

(2) 若改“C”为电位参考点,即 $\varphi_C = 0$

与上述分析步骤相同,不难算出:

$$\varphi_D = \varphi_C - U_{CD} = 0 - 2 = -2 \text{ V}$$

$$\varphi_O = \varphi_C - U_{CO} = 0 - 3 = -3 \text{ V}$$

$$U_{OD} = \varphi_O - \varphi_D = -3 - (-2) = -1 \text{ V}$$

可见,参考点变了,各点的电位值都做了相同的变化,但任意两点间的电压值不变。

1.2.4 电动势(E)

要使电路通过持续电流,需要两个基本条件:一个是电路要构成闭合回路;另一个是电路要有电源。电源种类较多,其中有一类电源可以给电路提供产生电流的电压。那么电源两端的电压又是怎样产生的呢?

电源内部的主要部分也是导体,例如发电机的主要部分是位于转动磁场中的绕组,绕组是用金属导体绕制成的线圈。蓄电池的主要部分是电解液和处于电解液中的电极,它们都是导体。我们以发电机为例,并以发电机绕组中的一段导体来分析电源内部的情况。金属导体内部有大量的自由电子,如果对这些自由电子施加一种“外力”(注意:是非静电力),在这个“外力”作用下,导体中的自由电子从一端移到另一端,如图 1.2.7(a),使一端积累了负电荷,而另一端由于失去电子出现了正电荷的积累。在“外力”作用下电荷分离的同时,在电源内部产生了电场,其他自由电子除了继续受“外力”作用,还要受这个电场力的作用。电场力(用 F_E 表示)与“外力”(用 F 表示)方向恰好相反,它对自由电子沿“外力”方向移动起着阻碍作用,如图 1.2.7(b) 所示。开始“外力”(假定是一个常量)大于电场力,自由电子将继续沿“外力”方向运动,两端负、正电荷的积累继续增多,电场力也将继续增大。当两端电荷积累到一定数量后,使 F_E 与 F 大小相等,如图 1.2.7(c) 所示,自由电子不再移动,处于动平衡状态。

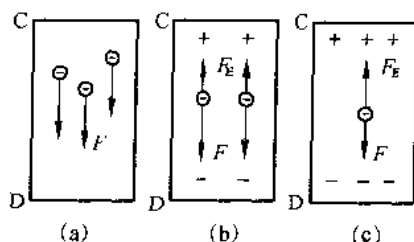


图 1.2.7

不难想像,在“外力”作用下移动电荷也是要做功的。我们把电源内部在“外力”作用下移动单位电荷 Q 所做的功 A 称为电源的“电动势”,用字母 E 表示,即

$$E = \frac{A}{Q} \quad (1.2.5)$$

如上所述,在电动势形成的过程中,也形成了电场,使电源两端具有了正、负电位。电源两端的电位差即电源的“端电压”。由式(1.2.5)可知,电动势的单位和电压一样也是伏(V)。

下面分两种状态来研究电源电动势与端电压的关系。

1) 电源没有接通外电路

电源不接外电路,就相当于图 1.2.7(c) 的动平衡状态。从电动势的角度看:

$$E = \frac{A}{Q} = \frac{F \cdot l_{CD}}{Q}$$

从电压的角度看:

$$U_{CD} = \frac{A_E}{Q} = \frac{F_E \cdot l_{CD}}{Q}$$

可以看出,在电源不接外电路,处于平衡状态下, $F = F_E$,则 $E = U_{CD}$ 。这是一个很重要的结论,即:电源的开路电压在数值上等于电源电动势,实际方向两者相反。电动势的实际方向是正电荷受“外力”运动的方向。如果说电压的实际方向是由高电位点指向低电位点,那么电动势的实际方向就是由低电位点(负极)指向高电位点(正极)。在这个意义上,电动势称“电位升”,而电压是“电位降”。

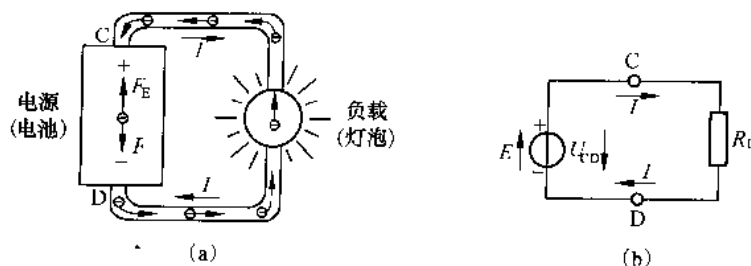


图 1.2.8

2) 电源与外电路(负载) 接通

如图 1.2.8(a) 是在图 1.2.7(c) 的两端经导线接通电灯负载。此时导线和负载中的自由电子(带负电荷)在电场力的作用下向电源的正极(C 端)移动,在电路中形成了电流(I)。这电流使电源两端正负电子“复合”,电极上的电荷积累减少了,破坏了“外力”和电场力的平衡, F 又大于 F_E ，“外力”又驱使电荷向两端分离运动。就这样在电源内部和外部组成的闭合电路中形成了持续不断的电流。注意,这里有两个过程,在电源内部“外力”做功,正电荷由低电位移向高电位,将其他形式的能量转换为电能;在外电路,电场力做功,正电荷从高电位移向低电位,将电能转换为其他形式的能量。综上所述,统观整体,电子移动的方向内外是连续的。内部与外部移动电子的动力不同。在图 1.2.8(a) 中同时标出了电子流向和电流实际方向。通常说的“电流从电流正极流向负极”是指电源外部电路说的。图 1.2.8(b) 为图 1.2.8(a) 的电路模型。

1.3 电阻元件

1.3.1 电阻与电阻元件

电流在导体中流动通常要受到阻碍作用。反映这种阻碍作用的物理量称为电阻。在电路图中常用“理想电阻元件”来反映物质对电流的这种阻碍作用。电阻元件的图形符号如图 1.3.1 所示,文字符号用 R 表示。

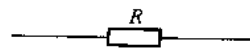


图 1.3.1

就长直导体而言,在一定温度下,电阻值可用下式计算:

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (1.3.1)$$

式中 l ——导体长度,单位为 m ;

S ——导体截面积,单位为 mm^2 ;

ρ —— 材料的电阻率, 单位为 $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ 。

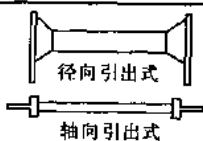
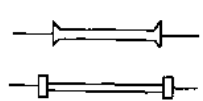
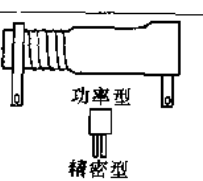
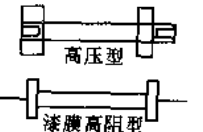
电阻 R 的单位是欧(Ω)。几种常见金属材料的电阻率如表 1.3.1 所示。

表 1.3.1 几种常用材料的电阻率

材料名称	电阻率(20℃时)	平均电阻温度系数(0℃~100℃)
	$\rho/(\Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot \text{m}^{-1})$	$\alpha/^\circ\text{C}^{-1}$
银	0.0159	0.0038
铜	0.0169	0.0040
铝	0.0265	0.00423
铁	0.0978	0.0050
钨	0.0548	0.0045
钢	0.13~0.25	0.006
康铜	0.4~0.51	0.000005
锰铜	0.42	0.000006
黄铜	0.07~0.08	0.002
镍铬合金	1.1	0.00015
铁铬铝合金	1.4	0.00028

电阻在电路中是自然存在的, 为了集中体现电阻值, 可以用不同材料制成各种形式的电阻器。表 1.3.2 为常用的几种电阻器的外形、结构及特点。应当指出, 电阻器、电阻值、电阻元件含义是不同的。今后“电阻”通常指电阻元件。

表 1.3.2 常用电阻器型号、结构及特点

名称	外形图	型号	结构	特点
碳膜电阻器		RT 型	在陶瓷骨架上沉积一层碳膜, 表面一般涂有绿色保护漆	稳定性好, 受电压和频率影响小, 价廉, 应用广泛。 阻值: $1\Omega \sim 10\text{M}\Omega$
金属膜电阻器		RJ 型	在陶瓷骨架上被覆一层金属膜(一般为镍铬合金), 表面涂有红色保护漆	耐热性好, 温度系数小, 体积小, 精度高, 噪声小, 可用于高频。 阻值: $1\Omega \sim 620\text{M}\Omega$
线绕电阻器		RX 型	用康铜、锰铜或镍铬合金丝绕在陶瓷骨架上, 表面涂有保护漆或玻璃釉	噪声小, 稳定性好, 温度系数小, 精度高, 耐热性好, 功率大。 阻值: $0.1\Omega \sim 5\text{M}\Omega$
金属氧化膜电阻器		RY 型	用金属盐溶液在炽热的陶瓷骨架表面水解沉积而得	抗氧化性和热稳定性好。 阻值: $1\Omega \sim 200\text{M}\Omega$
合电压型电阻器		RH 型	由炭黑、石墨填料和有机粘合剂配成悬浮液, 涂在骨架上, 经加热聚合而成	主要用于高压高阻场合。 阻值: $10\text{M}\Omega \sim 10^8\text{M}\Omega$ 最高工作电压: 35 kV

实际用电器具(设备)在作电路分析时, 有的就可以集中化、抽象化为一种理想电阻元件, 如白炽灯泡, 电热炉, 电烙铁, 特制的电阻器等。

[例 1.3.1] 有一条直流线路,长 500 m,原来采用截面积为 16 mm^2 的铜质导线进行连接,今打算以铝代铜,但导线的电阻值不能改变,试求铝质导线的截面积。

[解] 由公式(1.3.1)可知,原采用铜线的电阻为

$$R = \rho_{\text{Cu}} \frac{l}{S_{\text{Cu}}} = 0.0169 \times \frac{500}{16} = 0.528 \Omega$$

改用铝线后, R 、 l 不变,电阻率改用 ρ_{Al} ,铝线截面积仍由式(1.3.1)导出:

$$S_{\text{Al}} = \rho_{\text{Al}} \frac{l}{R} = 0.0265 \times \frac{500}{0.528} = 25.09 \text{ mm}^2$$

根据我国标准线径,可以选取不小于此截面的标准导线。

1.3.2 电阻元件的电压、电流关系

如图 1.3.2 所示,在电阻元件两端加电压 u ,通过电阻元件的电流为 i ,它们的参考方向一致,如图上所标。电压和电流选取这样相互一致的参考方向称为“关联方向”。

电阻的电气特征可以通过电流(i)和电压(u)之间的函数关系来表达:

$$u = f(i) \quad (1.3.2)$$

$$\text{或} \quad i = F(u) \quad (1.3.3)$$

电流和电压的这种函数关系称为“伏—安特性”。伏安特性通常是对其所代替的实际电阻由实验取得数据将其绘成曲线,称“伏安特性曲线”。电阻元件的伏安特性曲线是通过 $u-i$ 直角坐标系原点的曲线。图 1.3.3 是一组通过原点的直线,表示这些电阻元件上的电压与电流成正比。式(1.3.2)、式(1.3.3)与图 1.3.3 可称为电阻元件的“数学模型”。即电阻元件可以这样定义:一个两端元件,电压(u)和电流(i)两者之间的关系若能由 $u-i$ 直角坐标系中一条曲线来描绘,则此两端元件称电阻元件。

将式(1.3.2)和式(1.3.3)的函数关系写成方程式就是:

$$u = Ri \quad (1.3.4)$$

$$\text{若} \quad i = \frac{1}{R}u \quad (1.3.5)$$

可以说 R 是 u 、 i 函数关系中的一个系数,由图 1.3.3 可见不同的电阻值,只是直线的斜率不同:

$$\text{tg } \alpha = \frac{u}{i} = R \quad (1.3.6)$$

$$\text{tg } \beta = \frac{i}{u} = \frac{1}{R} \quad (1.3.7)$$

若电阻元件的伏安特性曲线是一条直线,称“线性电阻元件”,电阻值是一个常数,与 u 或 i 的数值大小无关。在图 1.3.3 中,可知 $R_1 > R > R_2$ 。

图 1.3.4 所示的一组伏安曲线,不是直线,这种电阻元件称“非线性电阻元件”。非线性电阻伏安关系只能用式(1.3.2)或式(1.3.3)表示,而不能用式(1.3.4)或式(1.3.5)

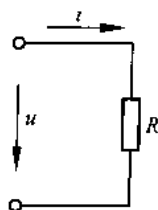


图 1.3.2