

高等学校轻工专业试用教材

电路与磁路

龚富林 宗祥娟 龙杰民 编

中国轻工业出版社

高等学校轻工专业试用教材

电 路 与 磁 路

龚富林 宗祥娟 龙杰民 编

中国轻工业出版社

(京)新登字034号

内 容 简 介

本书是根据国家教委制订的高等工程专科学校《电路与磁路》课程的教学基本要求编写的，可作为三年或二年制专科工业电气自动化、电气技术、家用电器和计算机及应用等电类专业的教材。也可作为相应本科专业的补充教材。

为适应培养专科应用型人才的特点，本书在内容选取、叙述方法、层次结构等方面作了认真的考虑与安排。第一、二、三章为直流电阻电路；第四~八章为正弦电流电路；第九、十章分别为线性动态电路的时域分析与复频域分析；第十一、十二、十三章分别为简单非线性电路、磁路和分布参数电路。

为帮助学生复习巩固，大部分章节配有思考与练习题，每章末附有小结及习题。

高等学校轻工专业试用教材

电 路 与 磁 路

龚富林 宗祥娟 龙杰民 编

裴聿修 责任编辑

*

中国轻工业出版社出版

(北京市东长安街6号)

一二〇一工厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

*

787×1092毫米 1/16 印张：25 字数：588千字

1993年9月 第1版第1次印刷

印数：4000册 定价：11.80元

ISBN 7-5019-1437-0/TN·003

前 言

本书是在轻工自动化类专业教材委员会组织指导下,由北京轻工业学院、上海轻工业专科学校以及湖南轻工业专科学校三院校曾从事多年专科教学的教师编写的。可作为高等工程专科工业电气自动化、电气技术、计算机及应用、家用电器等各专业的教材,也可作为相应本科专业的补充教材。

本书以国家教委颁发的《高等学校工程专科电路及磁路教学基本要求》为基本依据,针对培养技术应用型人才的知识能力结构的特点,在内容选择、论证叙述、章节顺序等方面作出了安排。力求做到突出概念、强化应用、深入浅出,又不影响电路课程本身的严密性与逻辑性。把各专业都需要的、应该重点掌握的内容安排在较前面的章节,为根据不同专业、不同的学生程度取舍内容提供方便。为了巩固概念、提高应用能力,在节末的思考与练习和章末的习题作了适当的搭配。本书还配有题解,供教师备课参考。

本书共分十三章。第一、二、三、九章由宗祥娟编写,第四、五、六章由龙杰民编写,第七、八、十、十一、十二、十三章由龚富林编写。本书由龚富林主编。

本书由北京理工大学沈世锐教授主审,在编写过程中得到了北京轻工业学院夏德铃教授、朱启昧副教授等的热情指导及帮助,在此一并表示衷心的感谢。

本书为摸索专科教材的特色,某些内容及方法作了变动与尝试,对全书存在的不足或错误,敬请读者批评指正。

编 者

1993年2月

目 录

第一章 电路的基本概念	1
§1-1 电路及电路模型	1
§1-2 电路分析的基本变量及参考方向	1
§1-3 电阻元件	8
§1-4 电容元件	10
§1-5 电感元件	12
§1-6 电压源与电流源	15
§1-7 基尔霍夫定律	18
小 结	23
习 题	23
第二章 简单电阻电路的分析	28
§2-1 电阻的串联	28
§2-2 电阻的并联	32
§2-3 电阻的混联	35
§2-4 电阻 Δ -Y的等效变换	39
§2-5 电压源、电流源的连接	44
§2-6 电源的等效变换	45
小 结	49
习 题	50
第三章 线性网络的一般分析及定理	55
§3-1 网络有向图的概念	55
§3-2 支路法	60
§3-3 回路电流法	63
§3-4 节点电压法	68
§3-5 叠加定理	73
§3-6 替代定理	78
§3-7 戴维南定理	79
§3-8 诺顿定理	84
§3-9 特勒根定理	86
§3-10 对偶性	89
小 结	90
习 题	91
第四章 相量法和正弦交流电路	96
§4-1 交流电的基本概念、正弦交流电的产生	96

§4-2	正弦交流电的三要素	99
§4-3	正弦交流电的有效值	104
§4-4	复数	105
§4-5	正弦量的相量表示、相量法	108
§4-6	基尔霍夫定律的相量形式	112
§4-7	电阻、电感及电容元件的伏安关系的相量形式	114
§4-8	RLC串联电路电压电流关系的相量形式及复阻抗	119
§4-9	RLC并联电路电压电流关系的相量形式及复导纳	122
§4-10	复阻抗与复导纳的等效互换	125
§4-11	正弦交流电路的分析	128
§4-12	正弦交流电路中的功率	134
小 结		142
习 题		143
第五章	谐振电路和非正弦周期电流电路	148
§5-1	串联谐振电路	148
§5-2	并联谐振电路	152
§5-3	非正弦周期电流电路的初步分析	156
§5-4	滤波器	160
小 结		162
习 题		163
第六章	有耦合电感与理想变压器的电路	165
§6-1	互感	165
§6-2	耦合电感的伏安关系	168
§6-3	含耦合电感的正弦电流电路的计算	172
§6-4	理想变压器	179
小 结		185
习 题		186
第七章	三相电路	191
§7-1	三相电路	191
§7-2	对称三相电路的计算	195
§7-3	不对称的三相电路	202
§7-4	三相电路中的功率	206
小 结		211
习 题		212
第八章	二端口网络与多端元件	215
§8-1	二端口网络	215
§8-2	二端口网络的方程和参数	216
§8-3	二端口网络的等效电路	222
§8-4	多端元件、二端口元件	224

小 结	231
习 题	232
第九章 线性动态电路的时域分析	235
§9-1 动态电路	235
§9-2 电路初始值的确定、换路定则	236
§9-3 一阶电路的零输入响应	241
§9-4 一阶电路的零状态响应	247
§9-5 一阶电路的全响应	255
§9-6 阶跃函数与阶跃响应	259
§9-7 二阶电路的零输入响应	263
§9-8 冲激函数与冲激响应	270
小 结	273
习 题	274
第十章 线性动态电路的复频域分析	283
§10-1 概述	283
§10-2 拉普拉斯变换	284
§10-3 拉普拉斯变换的基本性质	287
§10-4 拉普拉斯反变换的部分分式展开法	291
§10-5 电路元件电压电流关系的复频域形式	295
§10-6 电路定律的复频域形式	297
§10-7 用拉普拉斯变换分析线性动态电路	299
§10-8 网络函数	303
小 结	307
习 题	303
第十一章 简单非线性电阻电路的分析	312
§11-1 非线性电阻元件	312
§11-2 非线性电阻电路的图解法	314
§11-3 折线法	317
§11-4 小信号分析法	318
小 结	320
习 题	320
第十二章 磁路和有铁芯线圈的电路	323
§12-1 磁场的基本概念和基本性质	323
§12-2 铁磁性物质及其磁化曲线	326
§12-3 常用铁磁材料	331
§12-4 磁路的基本概念和基本定律	333
§12-5 磁路与电路的比较	337
§12-6 无分支恒定磁通磁路的计算	339
§12-7 交变磁通磁路	343

§12-8 铁芯线圈电路	348
§12-9 铁芯变压器	352
小 结	357
习 题	358
第十三章 分布参数电路	362
§13-1 概述	362
§13-2 均匀传输线的正弦稳态解	363
§13-3 行波	366
§13-4 终端匹配的传输线	372
§13-5 终端不匹配的传输线	376
§13-6 无损耗线	379
§13-7 无损耗线波过程的概念	384
小 结	388
习 题	390
参考文献	392

第一章 电路的基本概念

提 要

本章主要介绍：电路模型的概念及建立电路模型的意义，电路的基本物理量——电流、电压及功率；电路的基本元件——电阻、电容、电感和电源；元件的伏安特性，电路的基本定律——基尔霍夫电流定律及基尔霍夫电压定律。

§1-1 电路及电路模型

电路是由各种电气器件、电子器件按一定要求连接起来的总体，它提供了电流流动的路径。器件指的是如电池、电阻器、电容器、开关、继电器、晶体管、集成运算放大器、计数器、存贮器、译码器等等电气技术电子技术中的零、部件。一台电气设备需用很多器件组成，例如电子计算机、电力拖动系统等较复杂的设备，包含成千上万个器件。

电路的内涵如此广泛、电路器件品种如此繁杂，分析研究电路从何着手呢？首先对某些最基本的器件，只考虑其主要的电磁现象而忽略其它次要的现象，从而将它抽象为理想电路元件(以后简称为电路元件或元件)。例如一个通电的电阻器(实际器件)，当只考虑其耗能的主要物理现象，忽略了次要的电流引起的磁场现象，就能把它理想化为电阻元件。类似地，只考虑电容器中的电场现象就将它理想化为电容元件；只考虑电感器中的磁场现象就将它理想化为电感元件。一个(实际)器件，可以由一个(理想)元件或多个(理想)元件的组合来模拟它，称这个元件或这种元件的组合为该器件的“模型”。实际电路是用导线把器件连接起来组成的，而它的电路模型是用理想导线把元件连接起来组成的。元件有其精确的数学定义，电路模型遵循基本定律，于是找到(或称建立)了电路模型后，就可以用数学工具根据基本定律对电路模型进行分析研究。例如电池与灯泡连接是最简单的电路，它的电路模型是电压源(元件)与电阻(元件)的串联，可以用欧姆定律来计算。

思考与练习

1-1-1 试举例说明我们日常接触的实际电路器件中，哪些是消耗电能量的、哪些是储存电场能量的，哪些是储存磁场能量的？

1-1-2 什么叫电路模型？为什么要建立电路模型？试举例建立一个简单的电路模型。

§1-2 电路分析的基本变量及参考方向

电路分析是在已知电路的结构及元件的情况下求解电路中的电流、电压及功率。我们在

这节中讨论电流、电压及功率等物理量的有关概念。

一、电 流

电荷的定向运动形成电流。为了衡量电流的大小，把每单位时间内通过导体横截面的电荷量定义为电流强度。电流强度通常简称电流，用符号*i*表示，即

$$i \stackrel{\text{定义}}{=} \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{dq}{dt} \quad (1-1)$$

习惯上把正电荷运动的方向作为电流的流向。

在国际单位制(SI)中，电流的单位是安培。1安培的电流表示在1秒钟的时间内，通过导体某一横截面的电荷量是1库仑。

$$1 \text{ 安培} = \frac{1 \text{ 库仑}}{1 \text{ 秒}}$$

安培简称为安，用符号A表示。

当电流较小时，可用毫安(mA)或微安(μ A)作单位。

$$1 \text{ A} = 10^3 \text{ mA}$$

$$1 \text{ mA} = 10^{-3} \text{ A}$$

$$1 \text{ mA} = 10^3 \mu\text{A}$$

$$1 \mu\text{A} = 10^{-3} \text{ mA}$$

$$1 \text{ A} = 10^6 \mu\text{A}$$

$$1 \mu\text{A} = 10^{-6} \text{ A}$$

电流是一个既有大小又有方向的物理量。怎样用数学式把电流方向也表达出来呢？因为电流只有两个流向，因此可以用一个代数量来表示，代数值的绝对值表示电流的大小；代数值的正、负值反映电流的方向。要以代数值的正、负反映电流的方向，我们必须引入电流参考方向的概念。

在一个二端元件上，我们可以任意选定一个方向作为电流的参考方向，用实线箭头标在连接线的旁边。电流的真实方向与参考方向一致，电流为正值；如果两者相反，电流为负值。这样，就可以利用电流的正负值结合参考方向来表明电流的真实方向。例如图1-1(a)中， $i > 0$ 时，电流实际方向与参考方向一致；图1-1(b)中， $i < 0$ 时，电流实际方向与参考方向相反。

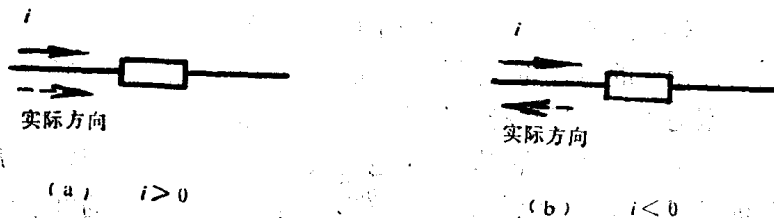


图1-1 电流的参考方向与实际方向

电路中的电流在没有求得以前，它的方向与大小同样是未知的，有时也不能简单地加以判断，有时电流的方向是变化的(如正弦交变电流)。因此在分析电路以前首先要设定元件中电流的参考方向，电流的参考方向可以任意设定。但是，一经设定以后，列写方程分析电路时，就以这个方向为准，在整个计算过程中不能随意改变。一般在电路图中用箭头标明电流的参考方向，由电流值的正、负反映实际电流的方向，而不必再将电流的实际方向在电路图中画出来。

例1-1 图1-2中所示的A、B、C三个元件中，电流*i*_A、*i*_B、*i*_C的参考方向如图所示。

① $a \stackrel{\text{定义}}{=} b$ 表示“按定义*a*等于*b*”

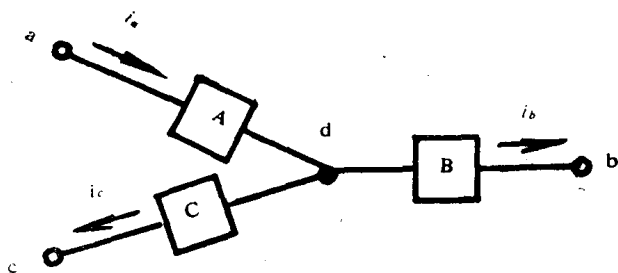


图1-2 例1-1

若有 $i_A = -10\text{mA}$, $i_B = 6\text{mA}$, $i_C = -16\text{mA}$ 问这三个代数值表示什么意思?

答: $i_A = -10\text{mA}$ 表示元件A中有10mA的电流通过, 电流的实际方向由d端流向a端。

$i_B = 6\text{mA}$ 表示元件B中有6mA的电流通过, 电流的实际方向由d端流向b端。

$i_C = -16\text{mA}$ 表示元件C中有16mA的电流通过, 电流的实际方向由C端流

向d端。

二、电压、电位与电动势

电荷在电场力作用下做有规则的运动, 电场力对电荷做了功, 电压就是衡量电场力做功能力的一个物理量, 电压又叫电位差, 用字母 u 表示。

a、b两点间的电压 u_{ab} 在数值上等于电场力把单位正电荷从a点移动到b点所做的功。它的定义式为

$$u_{ab} \triangleq \frac{\Delta W}{\Delta q} \text{ 严格地为 } u_{ab} = \lim_{\Delta q \rightarrow 0} \frac{\Delta W}{\Delta q} = \frac{dW}{dq} \quad (1-2)$$

在国际单位制(SI)中, 电压的单位为伏特。两点间的电压为1伏特表示电场力将1库仑的正电荷从一点移动到另一点做了1焦耳的功

$$1 \text{ 伏特} = \frac{1 \text{ 焦耳}}{1 \text{ 库仑}}$$

伏特简写为伏, 用符号V表示。计量微小电压时用毫伏(mV)或微伏(μV)作单位; 计量大电压时, 用千伏(kV)做单位。

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

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

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

电压的定义还规定了在电场力作用下, 正电荷移动的方向是电压的实际方向, 或者说电压的实际方向是从高电位指向低电位的(电位降低的方向), 如果用符号“+”与“-”表示电位的高与低, 也可称电位高的一端电压的极性是“+”的, 电位低的一端电压的极性是“-”的。

象设定电流的参考方向一样, 也需要设定电压的参考方向。电压的参考方向有三种表示方法: (1)用双下标表示, 如用 u_{ab} 表示参考方向为a指向b的电压。(2)用极性符号“+”与“-”标注在电路的两端, 表示电压的参考方向为“+”端指向“-”端。(3)用箭头“→”表示电压的参考方向。

在设定了电压参考方向后, 电压 u 也是一个代数量。若 $u > 0$, 表示电压的实际方向与参考方向一致, 如图1-3(a)所示; 若 $u < 0$ 表示电压的实际方向与参考方向相反, 如图1-3(b)所示。

显然, 两点间电压选取的参考方向不同时, 表示电压的代数量取不同的“正”“负”号, 即

① 表示“相当于”

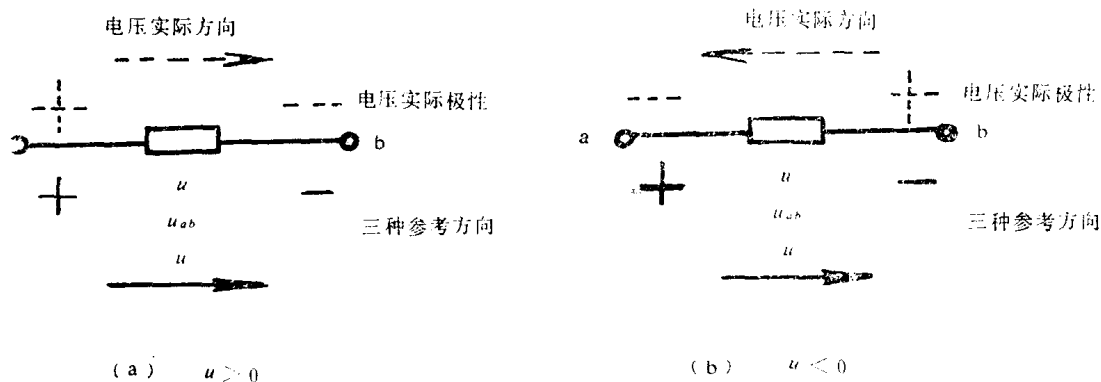


图1-3 电压的方向

有 $u_{ab} = -u_{ba}$ 。

在分析电路时，一段电路或一个元件上的电压的参考方向与电流方向可以独立地任意设定。但为了运算的方便，电压与电流的参考方向尽量选取一致，即设定的电流参考方向是从电压参考方向的“+”端流向“-”端，如图1-4所示。电压与电流的参考方向一致时，称为关联参考方向。

电压是对电路中某两点来说的，有时在电路中选某一点作为参考点，（在电子仪器中通常选取公共接地点或仪器外壳，接地点的图形符号为 $\equiv$ ，外壳的图形符号为 $\perp$ ）把其它各点对参考点间的电压称为点的电位，用符号 V 表示。在图1-5所示的电路中，若选 d 点为参考点，则 a 、 b 、 c 各点电位分别为 $V_a = u_{ad}$ $V_b = u_{bd}$ $V_c = u_{cd}$ 显然，参考点本身的电位为零，即 $V_d = 0$ ，参考点也就是零电位点。

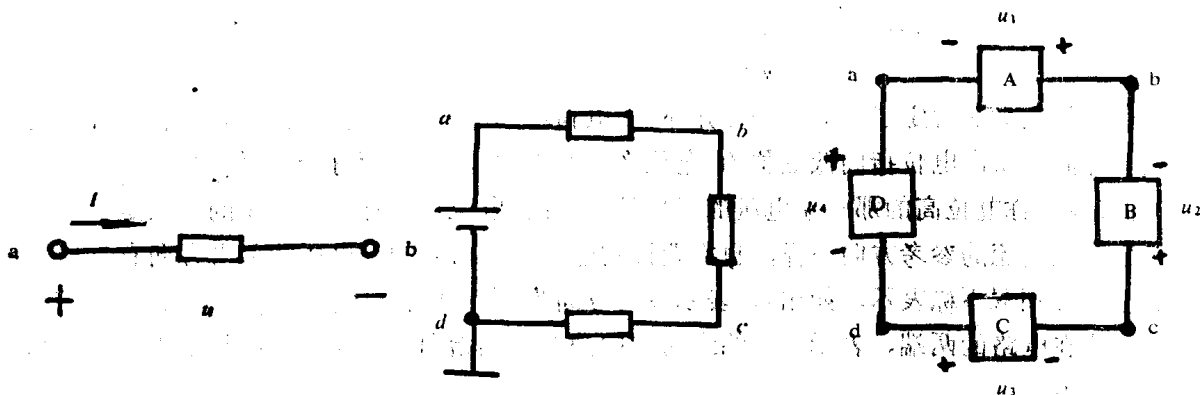


图1-4 电压与电流的关联参考方向

图1-5 电位的概念

图1-6 例1-2

由电压与电位的概念，我们可以得到电路中某两点间电压等于该两点电位之差。例如在图1-5中， a 、 b 两点间的电压为

$$u_{ab} = u_{ad} + u_{db} = u_{ad} - u_{ba} = V_a - V_b$$

所以电压也称为电位差。电位值是相对于参考点而言的，当电路中选择不同的参考点时，同

一点的电位的含义是不同的。因此在分析一个电路时,只允许选一个电位参考点(零电位点)。电路中电位参考点一经选定,电路中各点电位也就相应确定了。这种电位值唯一确定的特点,称为电位的单值性。

电位的单位也是伏特(V)。

例1-2 在图1-6所示电路中,已知各元件两端电压 $u_1=10\text{V}$, $u_2=5\text{V}$, $u_3=8\text{V}$, $u_4=-23\text{V}$,若分别选 b 点与 c 点为参考点,试求电路中各点电位。

解:(1)选 b 点为参考点, $V_b=0$

$V_a=u_{ab}=-u_1=-10\text{V}$; $V_c=u_{cb}=u_2=5\text{V}$; $V_d=u_{db}=u_{dc}+u_{cb}=u_3+u_2=8+5=13\text{V}$

(2)选 c 点为参考点, $\phi_c=0$

$V_a=u_{ac}=u_{ab}+u_{bc}=-u_1-u_2=-10-5=-15\text{V}$;

$V_b=u_{bc}=-u_2=-5\text{V}$; $V_d=\phi_{dc}=u_3=8\text{V}$;

在电子线路中,通常不用符号表示直流电源,而用参考点与电位值标出,如图1-7所示。

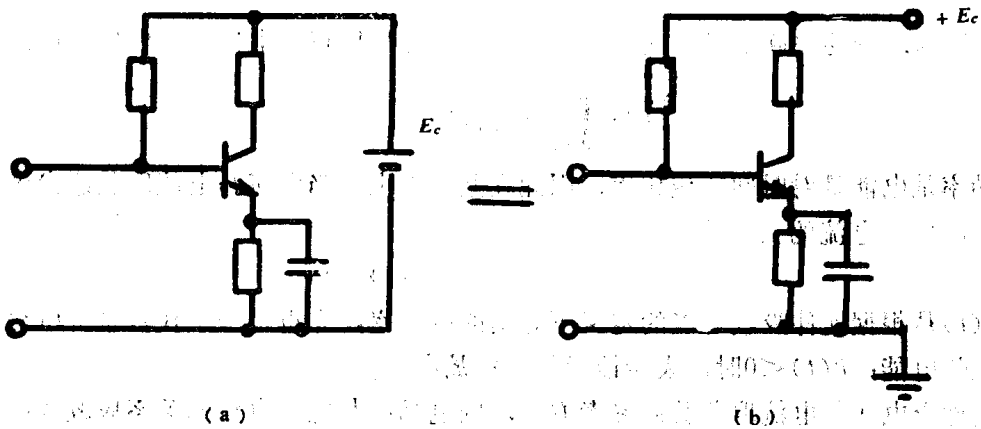


图1-7 用电位表示直流电源

电位可以用电压表测量,将电压表的“-”端接于电位参考点,电压表的“+”端接于电路中要测量电位的点,如图1-8所示。若电压表正偏,表示被测点电位比参考点电位高(正电位),电压表的读数就是该被测点的电位值。若电压表反偏,表示被测点电位低于参考点电位(负电位),则将电压表“+”端接参考点,电压表的“-”端接被测点,电压表的读数前冠以“-”号。就是该点的电位。

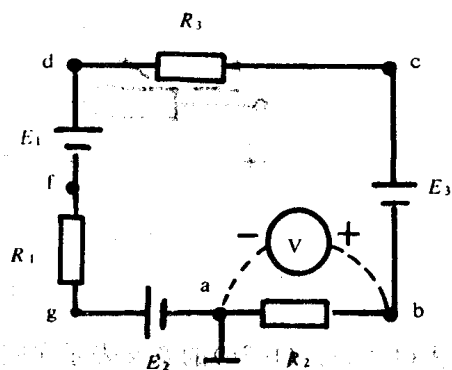


图1-8 电位的测量

电路中,正电荷在电场力作用下,由高电位移动到低电位,形成了电流。要维持电流,还必须要有非电场力(例如化学力、电磁力等)把正电荷从低电位推到高电位,这就是电源的作用。在电源内部,非电场力将正电荷从低电位移到高电位,非电场力克服电场力做了功。电源做功的能力是用电动势这个物理量来度量的。电动势在数值上等于非电场力将单位正电

荷从低电位端移动到高电位端所做的功。电动势的实际方向规定为由低电位端指向高电位端。

电动势用符号 e 表示。它的单位也是伏特(V)。

三、电功率和电能

电功率和电能是电路中的重要物理量，也是电气元件、电气设备用电或供电中的重要技术数据。

正电荷在电场力作用下从电路高电位端移动到低电位端，电场力做了功。此电能由电路元件转换成其它形式能量(热、光或机械功)，或说成该元件吸收(消耗)了电能；反之，若有元件把正电荷从低电位端移动到高电位端，则该元件是向电路释放(发出)电能。

从 t_0 到 t 的时间内，元件所吸收的电能 W 可根据电压定义式(1-2)求得

$$W = \int_{q(t_0)}^{q(t)} u dq$$

当电压与电流为关联参考方向时 $i = \frac{dq}{dt}$ ，于是可以得到电能 W 与电压、电流的关系：

$$W = \int_{t_0}^t u(\xi) i(\xi) d\xi$$

电功率是电能量对时间的变化率，因此在某元件上，当电压与电流取关联参考方向时，电功率与电压、电流的关系为：

$$p(t) = u(t) \cdot i(t) \quad (1-3a)$$

式中， $p(t)$ 是根据元件吸收电能的定义下导出的电功率，它也是一个代数量。 $p(t) > 0$ 时，表示元件吸收电能； $p(t) < 0$ 时，表示该元件是释放电能。

若元件上电压与电流取非关联参考方向，则电功率与电压电流的关系应改为：

$$p(t) = -u(t) \cdot i(t) \quad (1-3b)$$

上式的物理含义与式(1-3a)一样， $p > 0$ 时，表示元件吸收电能， $p < 0$ 时，则表示元件释放电能。

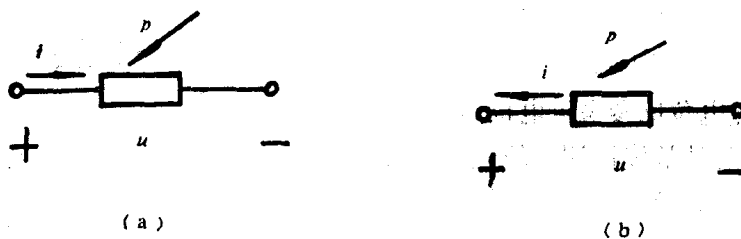


图1-9 功率的意义

式(1-3a)、(1-3b)的意义表示在图1-9。应该注意， i 的箭头、 u 的“+、-”是可以任意选定的参考方向， p 的箭头表示电能被设定为吸收。电压、电流的实际方向以及实际功率是否被元件所吸收，要在有了具体数值后才能肯定。

在国际单位制(SI)中，电能量的单位是焦耳(J)，简称焦；电功率的单位是瓦特(W)，简称瓦。在日常用电及工程上，还常用千瓦小时(KW·h)作电能量的单位，生活中称1千瓦小时为“1度电”。 $1\text{ kW}\cdot\text{h} = 1000\text{ W} \times 1\text{ h}$

例1-3 图1-10是蓄电池与灯泡组成的电路，电压、电流的方向已在图中标明，已知： $U=24\text{V}$ ， $I=1\text{A}$ ，蓄电池能供电0.5千瓦小时，问：（1）灯泡的功率为多少，是吸收功率还是释放功率？（2）蓄电池功率为多少？是吸收功率还是释放功率？（3）该蓄电池能供电多少时间？

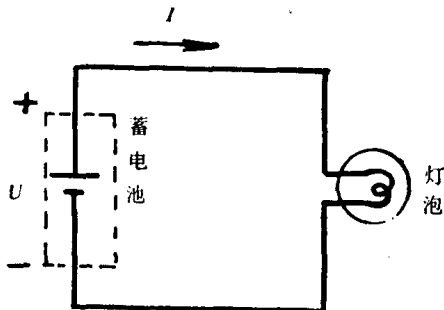


图1-10 例1-3

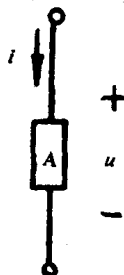


图1-11 例1-5

解：（1）灯泡功率 $P_{\text{灯}} = UI = 24 \times 1 = 24\text{W}$ $P_{\text{灯}} > 0$ 灯泡是吸收功率；（2）蓄电池功率 $P_{\text{电}} = -UI = -24 \times 1 = -24\text{W}$ $P_{\text{电}} < 0$ 蓄电池是释放功率；（3）蓄电池供电时间：

$$t = \frac{W}{P} = \frac{0.5 \times 10^3}{24} = 20\frac{5}{6}\text{h}.$$

例1-4 一只160瓦的电灯，每天平均照明4小时，30天共耗电多少？

解 $W = P \cdot t = 100 \times 4 \times 30 = 12\text{kW} \cdot \text{h} = 12\text{度电}$

例1-5 图1-11所示元件中， $i = 5\sin\omega t\text{A}$ ， $u = -10\sin\omega t\text{V}$ ，试求元件功率，并分析是吸收还是释放功率？

解 $p = ui = -10\sin\omega t \cdot 5\sin\omega t = -50\sin^2\omega t(\text{W})$

计算结果表明，该元件的功率是随时间变化的，但始终是负值，表示该元件是释放功率的，它是一个电源。

我们平时讲“电路的负载(荷)增加，是指电路中元件消耗的功率增加。在近似恒压源的供电系统中，功率增加必定是电流增加，而电流的加大意味负载(荷)电阻的减小，故负载(荷)加大泛指负载(荷)电阻的减小。

思考与练习

1-2-1 在分析电路时，为什么要设定电压、电流的参考方向？在设定了参考方向后，如何判断电压电流的实际方向？

1-2-2 什么叫电压与电流的关联参考方向？用关联参考方向有什么好处？

1-2-3 怎样理解电位是与选择的参考点有关的相对量？而电压是与参考点无关的物理量？

1-2-4 若无参考方向，只说某支路中电流是 $(+5)\text{A}$ 或 $(-5)\text{A}$ ，是否有意义？应该怎样表达才确切？

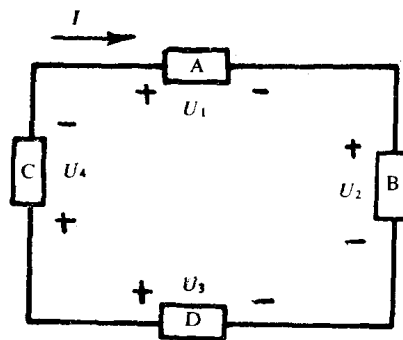
1-2-5 电路中某两点的电位都很高，则这两点间的电压也很高，这种说法是否正确？为什么？

1-2-6 同一电路中,若选择不同的电位参考点,对电路中各点电位及各元件两端的电压有何影响?

1-2-7 电压、电压降、电位差是否是一个物理量?为什么?

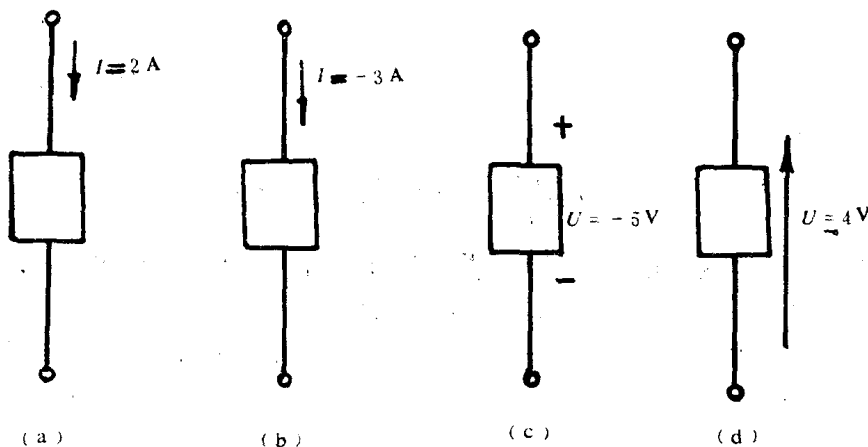
1-2-8 电压、电位与电动势三个物理量的单位都是伏特,它们有何不同?

1-2-9 图(题1-2-9图)示电路中,各元件两端电压分别为 $U_1=8V$, $U_2=10V$, $U_3=18V$, $U_4=0V$,电流 $I=5mA$,试求各元件的功率,并说明是吸收功率还是释放功率?



题1-2-9图

1-2-10 图(题1-2-10图)示电路中,各二端元件都是耗能元件,参考方向如图所示,试确定各元件电压、电流的实际方向。



题1-2-10图

§1-3 电阻元件

电阻元件是一个理想的二端元件,它是实际电阻器和各种耗能元件(电灯、电炉等)的模型。线性电阻元件用图1-12所示的符号表示。

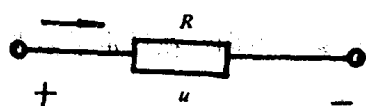


图1-12 线性电阻

在任何时刻,线性电阻元件两端的电压 u ①与元件中的电流 i 间的关系满足欧姆定律。即电阻元件上的电压、电流关系(或称伏安关系,伏安关系简称为VCR)为

$$u = \begin{cases} R \cdot i & \text{电压与电流关联参考方向} \\ -R \cdot i & \text{电压与电流非关联参考方向} \end{cases} \quad (1-4)$$

式中 u 、 i 是电路的变量, R 是表征电阻元件上电压电流关系的参数,称为电阻。因此,字母符号 R 既表示电阻元件,又是电路的参数。

① 本书今后用小写字母符号表示瞬时值或时间函数,如 u 即 $u(t)$ 、 i 即 $i(t)$ 等。

电阻元件上的伏安关也可表成

$$i = \begin{cases} G \cdot u & u, i \text{ 为关联参考方向} \\ -G \cdot u & u, i \text{ 非关联参考方向} \end{cases}$$

式中 G 是电阻元件的电导,是表征电阻元件的伏安关系的另一个参数。显然, $G = \frac{1}{R}$ 。

在国际单位制(SI)中,电阻单位是欧姆,简称为欧,用符号 Ω 表示。电阻较大时用千欧(k Ω)、兆欧作单位。

$$1\text{k}\Omega = 10^3\Omega$$

$$1\text{M}\Omega = 10^6\Omega$$

电导的单位是西门子,用符号S表示。

电阻元件的伏安关系画在 i - u 或 u - i ①平面上是一条曲线,这条曲线称为电阻元件的伏安特性。线性电阻元件的伏安特性在 i - u (或 u - i)平面上是通过坐标原点的直线。由图1-13所示的在 i - u 平面上的伏安特性可见,电阻值可由下式决定:

$$R = \frac{u}{i} = \operatorname{tg} \alpha \quad \alpha \text{ 是伏安特性直线与横轴的夹角}$$

在电压、电流关联参考方向时,电阻吸收的功率为:

$$p = ui = i^2 R$$

在电压、电流非关联方向时,电阻吸收的功率为:

$$p = -u \cdot i = -(-Ri) \cdot i = i^2 R$$

可见,电阻元件吸收的功率恒为正值,表示电阻元件中有电流通过,就有能量的消耗,所以说电阻是耗能元件。

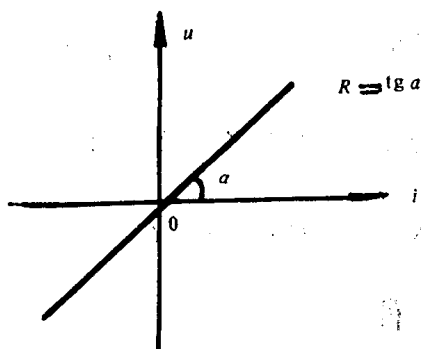


图1-13 线性电阻的伏安特性

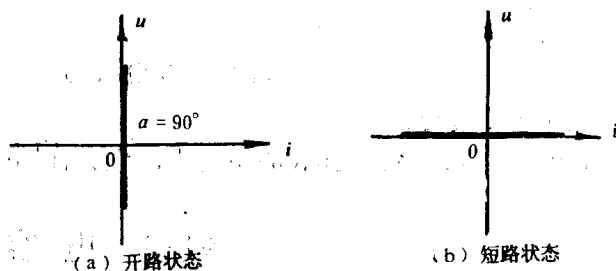


图1-14 “开路”、“短路”伏安特性

如电灯、电炉、变阻器等吸收电能的实际器件,它们的伏安特性或多或少都是非线性的。但在一定的工作条件下,这些器件的伏安特性基本上是一条直线,所以我们常用线性电阻元件来模拟这些器件。

对于线性电阻元件有两种特殊情况值得注意。一种是不论它两端的电压为何值,通过的电流恒为零值,在 i - u 平面的特性就是电压轴,它相当于 $R = \operatorname{tg} 90^\circ = \infty$,如图1-14(a)所示,把它称为“开路”。另一种情况是,不论流过它的电流为何值,它的端电压恒为零,如图1-14(b)所示,它的伏安特性就是电流轴,它相当于 $R = \operatorname{tg} 0^\circ = 0$,称这种情况为短路。

另外,电阻元件上的电压、电流在任何瞬间总是同时出现的,与该瞬间以前的电压、电流值是无关系的,所以该电阻元件属“无记忆”的元件。

① 以 i 为横轴、 u 为纵轴时称 i - u 平面,以 u 为横轴、 i 为纵轴时称 u - i 平面。