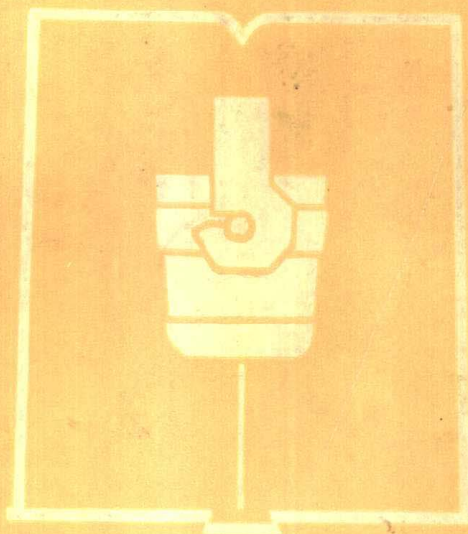


• 高等学校教学用书 •

电 路 基 础

(专 科 教 材)

GAODENG XUEXIAO JIAOXUE YONGSHU



冶金工业出版社

TM13
0042

高等学校教学用书

电路基础

(专业教材)

吉林电气化专科学校 高希和 主编

冶金工业出版社

高等学校教材

电路基础

(专科教材)

吉林电气化专科学校 袁希和 主编

*

冶金工业出版社出版

(北京北河沿大街嵩祝院北巷3号)

新华书店北京发行所发行

冶金工业出版社印刷厂印刷

*

787×1092 1/16 印张 28 1/2 字数 681 千字

1987年6月第一版 1987年6月第一次印刷

印数00,001~8,000册

统一书号: 15062·4578 定价4.65元

前 言

《电路基础》一书系根据冶金及有色系统专科学校1985年制订的《电路基础》教学大纲编写的。本教材作为高等专科学校工业电自动化、工业自动化仪表等专业教学用书。

本书按110学时左右编写，主要内容电路基本概念和基本定律；电路模型的等效变换；线性网络的一般分析方法；正弦稳态电路分析；三相电路；非正弦电流电路；磁路及铁芯电路；一阶、二阶电路的时域分析和域分析；二端口网络；网络方程以及线性网络的计算机矩阵分析。本教材自始至终贯穿模型的概念、等效变换的概念以及网络拓扑的概念。为便于学生自学，书中每节配有足够例题和习题，每章后面配备一定数量的综合例题和总习题。

本书初稿完成后，曾邀请云南矿冶专科学校、本溪钢铁专科学校、长沙有色金属专科学校、沈阳黄金专科学校、吉林电气化专科学校的任课教师进行审稿。编者对他们表示衷心感谢。

参加本书编写的有吉林电气化专科学校高希和(第一、二、四、五、六章)、沈阳黄金专科学校何福民(第三、十一章)、上海冶金专科学校徐传夫(第七、九、十章)、吉林电气化专科学校李秉俊(第八章)，由高希和主编，由长沙有色金属专科学校宁志强审阅。

本书亦适合作职工大学、夜大及函授专科的教学用书，也可作为有关电气工程技术人员的参考书。

由于编者水平所限，本书难免存在缺点和错误，诚恳希望读者批评指正。

编 者

1986. 9

目 录

第一章 电路基本概念和基本定律	1
第一节 电路及其模型.....	1
第二节 电流及其参考方向.....	2
第三节 电压及其参考极性.....	4
第四节 电功率.....	7
第五节 电阻元件.....	10
第六节 电容元件.....	14
第七节 电感元件.....	17
第八节 独立电源.....	20
第九节 一段含源电路的欧姆定律·基尔霍夫定律.....	26
第十节 电路中各点电位的计算.....	32
综合例题.....	34
总习题一.....	40
第二章 电路的等效变换	45
第一节 简单线性电阻电路的等效电路.....	45
第二节 含源支路的串联与并联.....	52
第三节 电压源与电流源模型间的等效变换.....	58
第四节 星形-三角形电路的等效互换.....	62
第五节 受控源及含受控源电路的等效电路.....	67
第六节 运算放大器电路.....	74
综合例题.....	77
总习题二.....	83
第三章 线性网络的一般分析方法	88
第一节 方程的独立性.....	88
第二节 支路法.....	89
第三节 网孔法.....	91
第四节 节点法.....	94
第五节 网络的图及树.....	98
第六节 割集法.....	101
第七节 叠加定理.....	105
第八节 戴维南定理.....	109
综合例题.....	112
总习题三.....	122

第四章 正弦稳态电路的基本概念	125
第一节 正弦量的三要素	125
第二节 正弦量的有效值	129
第三节 电阻中的正弦电流	132
第四节 电感中的正弦电流	134
第五节 正弦电压作用下的电容	137
第六节 R 、 L 、 C 串联的正弦稳态电路	140
第七节 正弦稳态电路中的功率	144
第八节 电压谐振	147
第九节 R 、 L 、 C 并联的正弦稳态电路	150
综合例题	153
总习题四	156
第五章 正弦稳态电路的相量法	159
第一节 用复平面上的相量表示正弦量	159
第二节 R 、 L 、 C 元件电压相量和电流相量间的关系	161
第三节 基尔霍夫定律及欧姆定律的相量形式	164
第四节 复功率	171
第五节 功率因数的提高	175
第六节 正弦稳态电路计算	177
第七节 交流电路中的互感	187
第八节 具有互感的交流电路计算	190
第九节 空芯变压器	195
第十节 理想变压器	198
综合例题	200
总习题五	203
第六章 三相电路	205
第一节 三相电路	205
第二节 对称三相电路计算	211
第三节 三相电路的功率及测量	214
第四节 不对称三相电路计算	217
综合例题	228
总习题六	231
第七章 非正弦周期电流电路	233
第一节 非正弦周期函数的谐波分析	233
第二节 波形对称性与傅立叶系数的关系	237
第三节 有效值、平均值、平均功率	244
第四节 非正弦周期电流电路的计算	249
第五节 对称三相电路中的高次谐波	252
综合例题	255

总习题七	262
第八章 磁路及铁芯电路	265
第一节 磁场和磁路的基本知识	265
第二节 铁磁性物质及其磁化	268
第三节 磁路定律	272
第四节 恒定磁通无分支磁路计算	274
第五节 交变磁通下的铁损	277
第六节 交变磁通下的电流波形	280
第七节 铁芯线圈及其等效电路	282
第八节 电磁铁	287
总习题八	291
第九章 一阶、二阶电路的时域分析和频域分析	293
第一节 单位阶跃函数和单位冲激函数	293
第二节 初始值的确定	296
第三节 一阶电路的零输入响应	301
第四节 一阶电路的零状态响应	306
第五节 一阶电路的完全响应——三要素法	309
第六节 一阶电路的阶跃响应和冲激响应	314
第七节 二阶电路的零输入响应	319
第八节 二阶电路的完全响应	325
第九节 拉普拉斯变换	326
第十节 拉普拉斯反变换	333
第十一节 电路的复频域模型	339
第十二节 应用拉氏变换分析线性电路	342
综合例题	348
总习题九	353
第十章 二端口网络	359
第一节 二端口网络	359
第二节 二端口网络的 Y 参数方程和 Z 参数方程	360
第三节 二端口网络的 A 参数方程和 H 参数方程	368
第四节 线性无源二端口网络的等效电路	373
第五节 二端口网络的联接	376
综合例题	381
总习题十	384
第十一章 线性网络的矩阵分析	387
第一节 节点与支路的关联矩阵	387
第二节 基本回路矩阵	388
第三节 基本割集矩阵	390
第四节 特勒根定理	391

第五节	典型支路及其参考方向·····	393
第六节	理想电源的分裂与转移·····	395
第七节	网络支路方程的矩阵形式·····	395
第八节	节点分析法·····	400
第九节	割集分析法·····	406
第十节	回路分析法·····	410
第十一节	正弦稳态的网络分析·····	415
第十二节	过渡状态的网络分析·····	423
第十三节	网络的计算机矩阵分析·····	425
总习题十一	·····	433
总习题答案	·····	437
参考书目	·····	447

第一章 电路基本概念和基本定律

第一节 电路及其模型

一、电路

1. 电源 生产及供应电能的设备统称电源。如同步发电机、变压器、干电池、光电池等。电源是建立电动势和维持电路中电流的电气装置。

2. 电力负载 吸收及转换电能的设备统称为电力负载, 简称负载。如白炽灯, 日光灯、电炉、电动机及其它用电设备。

3. 导线 负载取用的电能是由电源供给的。联接电源和负载并且传输电能的是输电线或称导线。

4. 开关 电源与负载间接通和切断的电器设备称开关。如实验室用的刀开关; 供电系统用的隔离开关、断路器等。

5. 电路 电源与负载用输电导线联接起来, 在适当位置安装开关即组成实际电路。电路的功能在于生产、传输和转换电能。电能是通过电流在电路传递的。电路是许多电气设备为了在其中获得电流有次序的组合。组成电路的主要部分有: 电源、负载和联接导线。

6. 电网络 实际电路是由一个或一个以上的电源供电, 并且存在着不止一个负载, 而负载又可能是各种类型的。将这些电源和负载以各种方式用导线联接起来便形成电网络。所以, 电网络可以理解成元件较多的, 较复杂的电路。

二、电路模型

在电路分析与计算上没有必要把实际的电路画在纸面上, 为简便起见, 常常把电源和负载抽象为理想元件, 称元件模型。用理想元件代替实际元件而保持其电磁性能不变, 组成与实际元件相对应的方便于计算的电路称电路模型。

图 1-1 所示电路是一个干电池向一个灯泡供电的实际电路抽象出来的电路模型。灯泡作为负载电阻 R_L , U_s 为干电池的电动势, R_s 是其内阻。把电动势作为理想电压源电压 U_s , 内阻 R_s 和负载电阻 R_L 理想化为集总参数电阻, 则实际电路抽象为理想化的电路模型。

必须指出, 图 1-1 的电路只是一个很简单的供电电路, 实际上, 处于信息时代的今天, 微电子技术、通讯技术、计算技术、自控系统以高速度向前发展, 处理大量信息的各种电子电路千差万别应运而生, 所以电路的概念也有了新的扩展。

从微小信号接收、放大、控制和贮存观点看, 所谓电源应包括各种信号源, 负载包括各种电子器件所形成的电阻、电容、电感; 电路包括各种晶体管放大电路、通讯电路、控制电路、存贮电路、测量电路, 这种电路主要依靠小信号进行工作。

从能量的观点看, 无论是供电电路还是信号传递系统皆为生产、传输和转换电能的系统, 只不过是能量的作用和数量级不同而已。

总之, 电路是多种多样的, 功能是各不相同的, 但是各种电路都统一在能量的传输和转

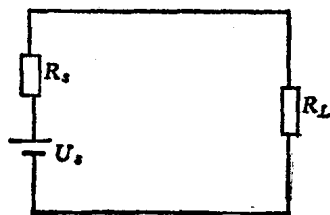


图 1-1 电路模型

换上。信号的处理也是能量作用的反映。一种电路存在的必要性和设计一个最佳电路，都是从电路所实现的功能这一点着眼的。

思考题 1-1 试举出几种实际电路，并画出电路模型。

思考题 1-2 试举例说明电源与负载的种类。

第二节 电流及其参考方向

一、电流

在电场的作用下，带电质点的定向运动形成电流。在金属导体中，自由电子的定向运动形成电流；在半导体中，空穴载流子和电子的相反定向运动形成电流；在电解液中，正负离子相反方向运动形成电流。这些均为带电质点有秩序的运动所形成的电流，这种电流属于传导电流。

必须指出，当导体两端无电场作用时，导体中的大量自由电子仅作无规则的热运动。导体中的电流是在导体两端加上电场以后，自由电子在电场力的作用下沿电场的相反方向作定向的有秩序运动而形成的。

为了从量的方面衡量电流的大小，引进电流强度的概念，即：在一小段时间 Δt 内，从导体某截面的一方穿到另一方电荷量的代数和 Δq 与该小段时间 Δt 的比，当 Δt 趋近零时的极限值，即：

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

所以电流强度是单位时间内从导体某截面的一方穿到另一方电荷量的代数和。设 $\vec{E}$ 为加在金属导体两端的电场，方向从A至B。习惯上规定：电流的实际方向为正电荷流动的方向，即与电场 $\vec{E}$ 的方向相同。见图1-2。

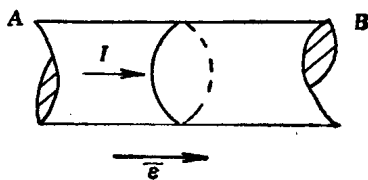


图 1-2 金属导体中的电流

从电流强度定义可知，电流是时间的函数。大小和方向不随时间变化的电流称直流，其电流强度用 I 表示：

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

它的波形见图1-3 (a)。大小和方向随时间变化的电流称交流，波形见图1-3 (b)、(c)。

在国际实用单位制SI中，电流强度单位为安培，即每秒钟通过导体某截面一库仑的电荷为1安培。安培的国际符号为A，电量单位为库仑C，时间单位为秒s。

二、电流的参考方向

在求解电路时，往往事先不知电流的实际方向。但在任一瞬间电流在导体中只可能有

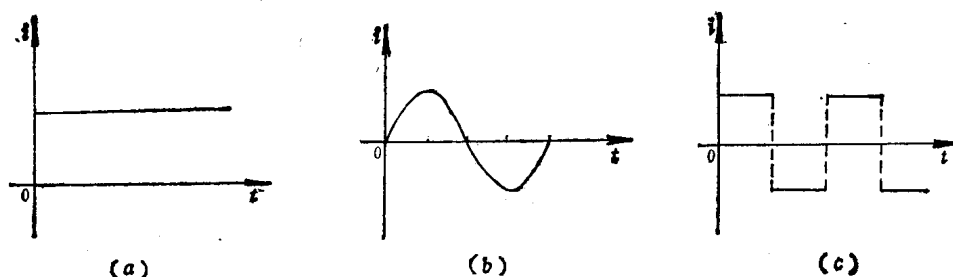


图 1-3 直流与交流

两种取向。为计算方便，在电路模型中 任意选择电流的一个方向作为正方向，称为电流的参考方向。电流的实际方向并不一定与电流的参考方向一致。当电流的实际方向与参考方向一致时，则电流的数值为正；反之，当电流的实际方向与参考方向相反时，则电流的数值为负。在规定参考方向前提下，一段电路的电流可能有正和负，所以它是一个代数量。在电路模型中，电流的参考方向可用实心箭头表示，见图1-4。

电流的参考方向有重要意义，通过它可以确定电流的实际方向。在计算时，电路模型上只标出电流的参考方向，不必标出其实际方向。电流的参考方向也可采用双下标表示，如：

$$i_{AB} = -i_{BA}$$

双下标说明 i_{AB} 与 i_{BA} 的方向相反，起到箭头的作用。

在用电流表测定电路的电流时，电流表的正负极性业已确定电流的参考方向。即电流箭头从正极经过表头指向负极，见图 1-5。若电流表指针顺时针偏转，则电流表指示的电流为正值。说明参考方向与实际方向一致。如果电流表指针反时针偏转，则电流表指示的电流为负值，说明实际的电流方向与参考方向相反。故根据参考方向和电流的正负值可确定电流的实际方向。

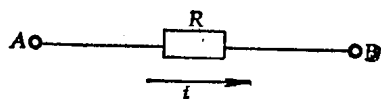


图 1-4 电流参考方向

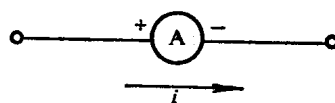


图 1-5 电流表中的电流

例 1-1 图 1-6 所示电路，设通过电阻 R 的实际电流为 1 A，方向从 A 至 B ，在设定的参考方向下，如图1-6 (a) 及 (b) 所示，试分别写出 I_1 及 I_2 。

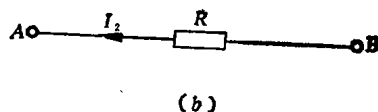
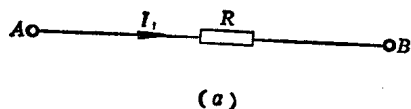


图 1-6 例1-1

解：图 (a) 因电流参考方向与实际方向一致，所以 $I_1 = 1\text{A}$ 。

图 (b) 因电流参考方向与实际方向相反，所以 $I_2 = -1\text{A}$ 。

例 1-2 指出图1-7电路中电流的实际方向。



图 1-7 例1-2

解：图 (a) 实际电流为从 B 指向 A 端，图上标 $-1A$ 表明电流参考方向与实际方向相反。图 (b) 标 $+1A$ 表明电流参考方向与实际方向相同。

思考题 1-3 电路中电流存在着实际方向，为什么又设定参考方向？

思考题 1-4 在一段电路中，标定电流的参考方向又标定电流的正负值说明什么？

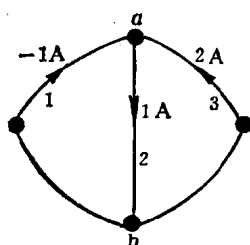


图 1-8 习题1-3

习题 1-1 流入电路的电流 $i(t) = 2t + 1A$ ，式中 t 的单位为秒 (s)。试求从 $t = 0$ 经 $2s$ 时间通过导体某截面的电荷量。

习题 1-2 每秒 4 库仑的负电荷从导线的 A 端移至 B 端，试在下列两种情况下求电流 i ：(1) 若电流参考方向从 A 至 B；(2) 若电流参考方向从 B 至 A。

习题 1-3 图1-8所示为某电路的线图（即联接方式与原电路模型一样，但抽去其元件具体内容）在每个线段上已标出电流的参考方向。试指明电流实际方向。

第三节 电压及其参考极性

一、电压

电荷定向运动是在电场力的作用下实现的。电荷 q 在电场力 $\vec{F}$ 的作用下沿路径 l 产生位移作的功 W 可用线积分表示（图1-9）：

$$W = \int_l \vec{F} \cdot d\vec{l} \quad (1-3)$$

这线积分的始点为 A，终点为 B。由电场强度定义知： $\vec{F} = q\vec{E}$ ，将之代入 (1-3) 式得：

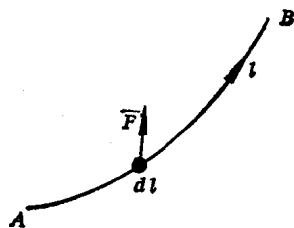


图 1-9 电场力作功

$$W = \int_l q\vec{E} \cdot d\vec{l} = q \int_l \vec{E} \cdot d\vec{l} = qU_{AB}$$

$$U_{AB} = \frac{W}{q} = \int_l \vec{E} \cdot d\vec{l} = \int_A^B \vec{E} \cdot d\vec{l} \quad (1-4)$$

U_{AB} 称电场中两点间的电压，它是静电力将单位正电荷从A点沿线路l移到B点所做的功。在(1-3)式中的 $\overline{\varepsilon}$ 为静电荷产生的电场，也称库仑电场，它又是位场，其值与积分路径无关，在研究电路问题时，为使电压具有确定的值，才用库仑场对电荷做功定义电压。

电压的SI制单位为伏特，即静电力移动1库仑的正电荷，若作1焦耳的功，则两点间的电压为1伏特。伏特的国际符号为V。

二、电位

既然电压的数值取决于路径起点和终点的位置而与路径无关，为便于比较起见，我们在库仑场中，取任意一点O为参考点，而某点A到参考点的电压 U_{AO} 称该点的电位，用 V_A 表示：

$$V_A = U_{AO} = \int_A^O \overline{\varepsilon} \cdot d\overline{l} \quad (1-5)$$

参考点本身电位是零：

$$V_O = U_{OO} = \int_O^O \overline{\varepsilon} \cdot d\overline{l} = 0$$

参考点一般选择无穷远点或大地，在电路模型中参考点是任意的。选定的参考点不同时，各点电位不同。参考点一经选定后，电路中各点电位具有单值性。在电场中，有了电位概念之后，AB两点间的电压，可用电位差来表示：

$$V_A - V_B = \int_A^B \overline{\varepsilon} \cdot d\overline{l} = U_{AB} \quad (1-6)$$

在电场中，正电荷从低电位移至高电位是移向电位升，这时由于外力对电荷做功，所以电荷得到电位能。正电荷从高电位移至低电位是移向电位降，电荷将原来得到的能量转移出去，这时电荷失去能量。电场中高低电位常用极性表示，正极性用代号“+”表示高电位，负极性用代号“-”表示低电位。

三、电压参考极性

在求解电路过程中，电路各点电位的高低往往是未知的，这就需要在电路各段间规定电压的参考极性即电压的参考方向。电压的参考极性是在电路模型中任意假定的电压正方向即电压降的方向。一段电路的电压参考极性用“+”，“-”号表示。或用箭头表示，假定的高电位用“+”表示，低电位用“-”表示。在电路计算时所求出的电压是正值，说明参考极性与实际极性相同，若所求出的电压是负值，说明参考极性与实际极性相反。电压的参考极性不是抽象的，有实际意义。通过计算，它可确定电路中某元件两端电压的真实极性。

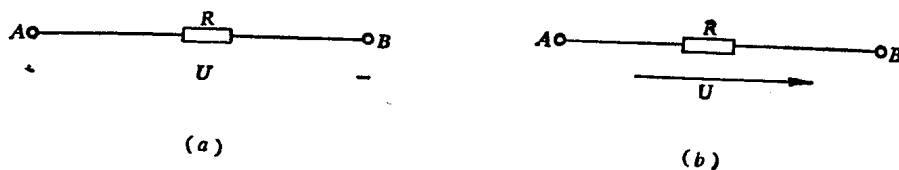


图 1-10 电压参考方向

图1-10 (a)、(b) 标明电阻元件上的电压参考极性。假定A点为高电位，B点为低电位，电压的参考方向从A至B，是电压降的方向。用双下标也能表明电压参考方向如 $U_{AB} = -U_{BA}$ 。

例 1-3 图1-11所示电路，电阻元件R的两端电压为1V，若正电荷从A移至B端获得能量，试说明电压的真实极性。

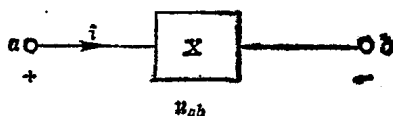


图 1-11 例1-3

解：参考方向见图1-11中 (a)、(b) 所示，正电荷从A点移至B点获得能量说明B点电位高，A点电位低，即图1-11 (a) 中 $U=1V$ ，参考极性与真实极性相同，图1-11 (b) 中， $U=-1V$ ，参考极性与真实极性相反。

四、电流电压的关联参考方向

本来一个元件上，电流参考方向，电压参考极性是各自独立的，但是为了计算方便，常采用电流电压为关联参考方向，在一段电路中，当选取电流参考方向和电压参考极性一致时，称该段电路的电流电压为关联参考方向。换句话说：关联参考方向系电流的参考方向指向参考电压降的方向，见图1-12。采用关联参考方向以后，在电路模型中只要标出各支路的电压参考极性，或电流参考方向中的任何一个即可。

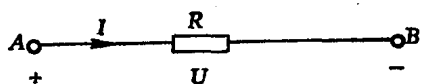


图 1-12 关联参考方向

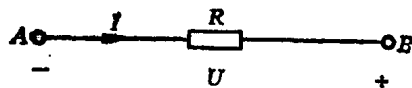
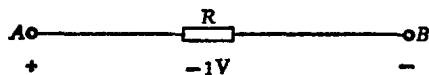


图 1-13 非关联参考方向

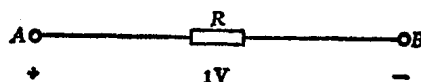
若电路元件中电流电压参考方向不一致，即电流参考方向的箭头指向电压参考“+”极性，则可称电流电压为非关联参考方向，见图1-13。

思考题 1-5 为什么说正电荷移向高电位是得到能量，移向低电位是失去能量？

思考题 1-6 试指出图1-14 (a)、(b) 所示电路的电压实际极性。



(a)



(b)

图 1-14 思考题1-6

习题 1-4 4 库仑的正电荷由A点移到B点，若(1)电荷失去10J能量。(2)电荷得到10J能量。试分别求 U_{AB} 。

习题 1-5 图1-15为某电网的线图，箭头所指为各段的电压参考方向，当 $U_1 = -10V$ ， $U_2 = 2V$ ， $U_3 = -3V$ ， $U_4 = -1V$ ， $U_5 = -8V$ ， $U_6 = 11V$ 时，试标明各段电压实际方向。

习题 1-6 在图1-15中，若各支路电流、电压为非关联参考方向。当 $i_1 = 1A$ ， $i_2 = 5A$ ， $i_3 = -2A$ ，

$i_1 = -4\text{A}$, $i_2 = -7\text{A}$, $i_3 = -6\text{A}$ 时, 试指出各支路电流实际方向。

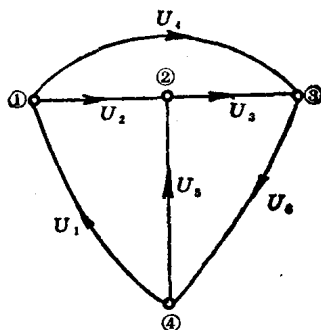


图 1-15 习题1-5

第四节 电 功 率

一、电功率

单位时间电场力移动正电荷所做的功称电功率。用符号 P 表示:

$$P = \frac{dW}{dt} \quad (1-7)$$

dW 为在 dt 时间内正电荷失去(或得到)的能量。实用单位制中, 功率的单位用瓦特(W)表示。如果每一秒钟, 正电荷失去(或得到)的能量为 1 焦耳, 则电功率为 1 瓦特。

二、电功率的正负

图1-16方框内是电路的一部分。可以是电阻, 电源或包括电源在内的各种元件的组合, 称二端黑箱。用 X 表示, 它是具有两个端钮的未知内容的元件或元件的组合, 我们关心的只是它的两个端钮上的物理量——电压和电流。

黑箱 X 上的电流电压采用关联参考方向。设在 dt 时间内由 A 点将电量为 dq 的正电荷移至 B 点, 电荷失去的能量由 (1-4) 式知

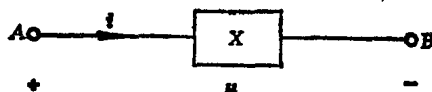


图 1-16 二端黑箱

$$dW = u dq$$

电荷失去的能量也就是电荷移动过程中传递给电路元件的能量, 即被黑箱吸收的能量, 由 (1-7) 式知

$$\left. \begin{aligned} P &= \frac{dW}{dt} = u \frac{dq}{dt} = ui \\ P &= UI \end{aligned} \right\} \quad (1-8)$$

可见, 在关联参考方向下, 用 (1-8) 式计算的功率如为正值, 则电路吸收功率。反之, 计算功率为负值, 则电路产生功率。

如黑箱外部电流与电压为非关联参考方向, 如图1-17, 则 (1-8) 式右端变号, 这时所计算的吸收功率 (1-8) 式前应加负号。

$$\left. \begin{aligned} P &= -ui \\ P &= -UI \end{aligned} \right\} \quad (1-9)$$

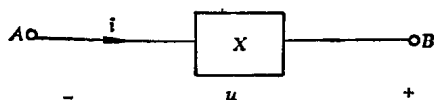


图 1-17 非关联参考方向的二端黑箱

根据(1-9)式算出的功率如为正值则应为黑箱吸收的功率，算出的功率是负值，则黑箱产生或发出功率。

必须注意到，公式(1-8)和(1-9)在选择参考方向下，都是吸收功率的计算公式。是真正吸收还是发出的功率要看按公式算得结果而定。结果为正值，即为吸收功率，结果为负值则为发出功率。这规律不仅适于电路某一元件——负载或电源，也适于任何含源支路。吸收功率的黑箱作为负载，发出功率的黑箱作为电源。

在SI单位制中，电压、电流和功率的单位是统一的，分别为伏特(V)，安培(A)，瓦特(W)，而能量的单位用焦耳(J)，时间单位用秒(s)。根据测量数量级的需要，可将SI单位制按以10为底的正负次幂放大或缩小。

电压：

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

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

电流：

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

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

功率：

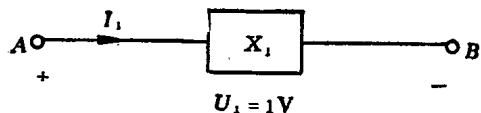
$$1 \text{ 千瓦}(1\text{kW}) = 1 \times 10^3 \text{ W}$$

$$1 \text{ 毫瓦}(1\text{mW}) = 1 \times 10^{-3} \text{ W}$$

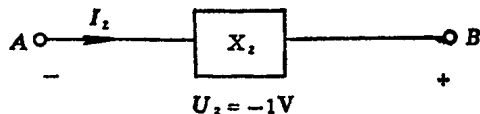
时间：

$$1 \text{ 微秒}(1\mu\text{s}) = 1 \times 10^{-6} \text{ s}$$

例 1-4 在图 1-18 所示的黑箱 X_1 和 X_2 中，若 $I_1 = 2\text{mA}$ ， $I_2 = 2\text{mA}$ 试求黑箱产生的功率或吸收的功率。



(a)



(b)

图 1-18 例1-4

解：1) 图(a)，电流、电压为关联参考方向，由公式1-8得：

$$\begin{aligned} P_1 &= U_1 I_1 = 1 \times 2 \times 10^{-3} = 2 \times 10^{-3} \text{ W} \\ &= 2\text{mW} > 0 \end{aligned}$$

$P_1 > 0$, 黑箱吸收功率。

2) 图(b), 电流电压为非关联参考方向。由公式(1-9)得:

$$P_2 = -U_2 I_2 = -(-1) \times 2 \times 10^{-3} = 2 \times 10^{-3} \text{ W} \\ = 2 \text{ mW} > 0$$

$P_2 > 0$ 说明黑箱吸收功率。

例 1-5 图1-19所示黑箱, 若元件产生的功率为4mW, 求电流 I 。

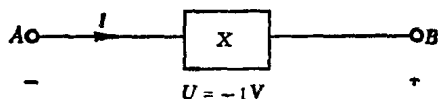


图 1-19 例1-5

解: 电流、电压为非关联参考方向, 由公式(1-9)得:

$$P = -UI = -4 \text{ mW}$$

$$I = \frac{P}{-U} = \frac{-4}{-(-1)} = -4 \text{ mA}$$

电流为负值, 说明实际方向由B指向A, 又由于 $U = -1\text{V}$, 实际上A点为高电位。电流从黑箱正极流出, 故黑箱可视为发出功率的电源。

习题 1-7 试计算图1-20所示黑箱吸收或产生的功率, 其电流、电压分别为 $I_1 = 1\text{A}$, $U_1 = 2\text{V}$; $I_2 = 2\text{A}$, $U_2 = -3\text{V}$ 。

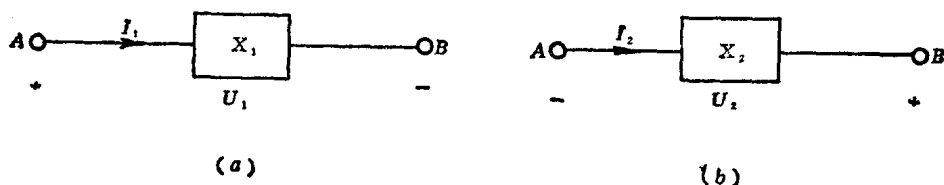


图 1-20 习题1-7

习题 1-8 图1-21(a)、(b)、(c)、(d)已标明电压、电流参考方向及数值, 试计算出功率的正负。

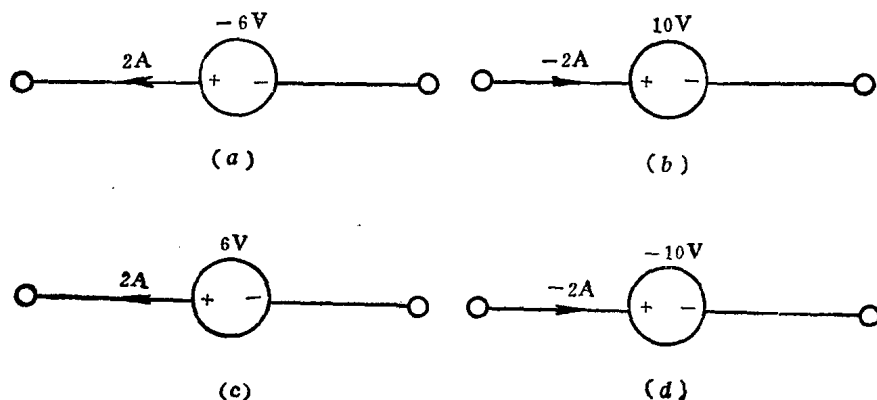


图 1-21 习题1-8