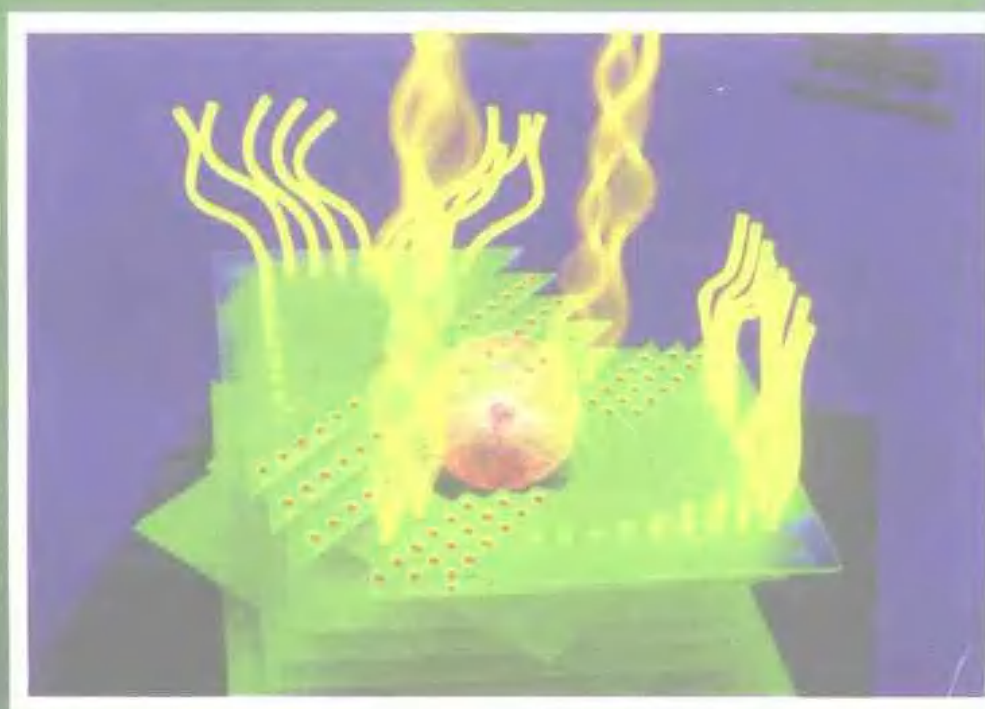


高等学校教材

电工技术



主编 席志红 曲杰琳

哈尔滨工程大学出版社

TM
X26

425116

高等学校教材

电 工 技 术

主 编	席志红	曲杰琳
副主编	高佩霞	颜伟中
编 者	王志安	陈虹丽
主 审	王淑钧	



00425416



哈尔滨工程大学出版社

内 容 简 介

本书是根据国家教委高等工科院校电工学课程指导小组审定的“电工技术课程教学基本要求”，并在1990年出版的原教材基础上重新编写而成的。书中内容除满足课程的基本要求外，还根据需要增加了部分新内容。其内容主要包括电路的基本理论及分析方法，电路的暂态过程，交流电路的特征及分析方法，磁路及常用电器，电机及电机常规控制，PC可编程序控制器，安全用电及居民建筑用电基本常识等。

本书除了作为高等工科院校非电类专业本科生的电工技术课程教材外，也可供有关工程技术人员参考使用。

电 工 技 术

Dian Gong Ji Shu

主编 席志红 曲杰琳

责任编辑 陈晓军

*

哈尔滨工程大学出版社出版发行

哈尔滨市南通街145号 哈工程大学11号楼

发行部电话(0451)2519328 邮编150001

新 华 书 店 经 销

哈尔滨市书刊印刷厂印刷

*

开本 787×1092 1/16 印张 18.375 字数 426千字

1997年12月第1版 1997年12月第1次印刷

印数:1~4000册

ISBN 7-81007-834-8

TM·8 定价:20.00元

前 言

本书是在原哈尔滨船舶工程学院出版社 1990 年出版的《电工技术》教材的基础上,结合我们多年的教学经验及对原书的使用意见,重新组织人员编写的。书中除章节次序与原书大体相同外,每章中的内容都根据教学的需要及当今电工技术发展的新趋势做了全面的调整。书名仍定为《电工技术》,以保持与课程名称的一致。

在结写过程中,我们注意贯彻重基础教育,重基本理论及技能培养的原则,力求使本书内容丰富、知识面宽、理论联系实际、叙述清楚、通俗易懂。本书共分为十二章,第一至五章为电路的基本理论(属于经典部分);第六章为磁路及变压器;第七、八、九章为电机及其控制部分(注意理论与实际相结合);第十章为 PC 可编程序控制器(属于新增加部分);第十一章为电气安全;第十二章为居民建筑用电基本常识(可供有关人员参考并可使学生开阔视野增加感性认识)。

本书附有实验指导教材,另行出版,有关电工测量及实践部分内容可参阅实验指导教材。

该书由哈尔滨工程大学、哈尔滨建筑大学、哈尔滨理工大学联合编写,并共同使用。

由于编者水平有限,书中难免存在许多缺点,恳请各位读者予以批评指正,以便今后再版时修订。

编 者

1997 年 12 月

目 录

1	电路的基本概念及基本定律	1
1.1	电路及其功能	1
1.2	电路的基本物理量及其参考方向	2
1.3	电阻元件	7
1.4	电容元件	8
1.5	电感元件	11
1.6	电源元件	13
1.7	基尔霍夫定律	15
1.8	电路中的电位及其计算	18
	习题	20
2	电路的基本分析方法	24
2.1	无源电路的等效变换	24
2.2	有源电路的等效变换	28
2.3	支路电流法	31
2.4	节点电压法	33
2.5	叠加原理	36
2.6	等效电源定理	39
2.7	负载获得最大功率的条件	43
2.8	含受控电源电路的分析	44
2.9	非线性电阻电路的分析	46
	习题	48
3	电路的暂态分析	54
3.1	概述	54
3.2	换路定则及电压、电流的初始值	54
3.3	一阶电路的零输入响应	58
3.4	一阶电路的零状态响应	62
3.5	一阶电路的全响应	65
3.6	一阶电路的三要素法	68
3.7	微分电路与积分电路	72
	习题	74
4	正弦交流电路	76
4.1	正弦交流电的三要素	76
4.2	正弦量的相量表示法	79

4.3	单一参数元件的特性	81
4.4	电阻、电感与电容串联的交流电路	86
4.5	负载的串联与并联	91
4.6	复杂交流电路的分析与计算	94
4.7	正弦交流电路中的谐振	98
4.8	功率因数的提高	104
4.9	非正弦周期性交流电路	107
	习题	113
5	三相正弦交流电路	119
5.1	三相交流电动势的产生	119
5.2	三相电源绕组的连接	120
5.3	三相电路中负载的连接	122
5.4	三相功率	128
	习题	130
6	磁路与变压器	132
6.1	磁路的基本概念和基本定律	132
6.2	交流铁芯线圈	137
6.3	变压器	140
6.4	电磁铁	149
	习题	150
7	三相异步电动机	152
7.1	三相异步电动机的构造	152
7.2	三相异步电动机的铭牌数据	153
7.3	三相异步电动机的工作原理	156
7.4	三相异步电动机的运行	159
7.5	三相异步电动机的电磁转矩和机械特性	163
7.6	三相异步电动机的起动	167
7.7	三相异步电动机的调速	171
7.8	三相异步电动机的反转与制动	173
7.9	单相异步电动机	175
	习题	178
8	直流电机	181
8.1	直流电机的结构及铭牌参数	181
8.2	直流电机工作原理	183
8.3	直流电动机的分类和机械特性	185
8.4	直流电动机的运行	188
	习题	191
9	常用控制电器及控制线路	192

9.1	常用控制电器和保护电器	192
9.2	鼠笼式异步电动机的直接起动控制	198
9.3	鼠笼式异步电动机的正反转控制线路	201
9.4	自动往复行程控制	203
9.5	异步电动机的时间控制	205
9.6	异步电动机顺序控制	207
	习题	207
10	可编程序控制器	210
10.1	概述	210
10.2	PC 的结构及工作原理	213
10.3	编程元件、梯形图及编程	216
10.4	可编程序控制器的应用	227
	习题	243
11	建筑供配电系统	246
11.1	电力系统的概念	246
11.2	电力负荷	246
11.3	6~10kV 变电所	252
11.4	低压配电系统	254
11.5	低压供配电线路的敷设方式与导线和电缆的选择	255
11.6	照明技术的基本概念	261
11.7	光源和灯具	263
11.8	照明设计	266
11.9	照明工程识图	269
	习题	272
12	安全用电与建筑防雷	274
12.1	低压配电系统保护的目、要求和接地的种类	274
12.2	低压配电系统的接地	275
12.3	建筑物的防雷	276
	习题	279
附录一	国外部分公司 PC 产品及其主要性能	280
附录二	国产部分公司 PC 产品及其主要性能	281
附录三	电气图常用图形符号	282
附录四	电气图常用的文字符号	283
附录五	聚氯乙烯绝缘、聚氯乙烯护套电力电缆 及裸导线长期连续负荷允许载流量表	284
附录六	铝芯绝缘导线长期连续负荷允许载流量表	285
附录七	500V 铜芯绝缘导线长期连续负荷允许载流量表	286

1 电路的基本概念及基本定律

电路的基本概念及基本定律是分析电路的重要基础。为了深刻理解和掌握好本章的基本概念及基本定律,本章在复习物理中已介绍过的基本物理量——电流、电压和功率的基础上提出电流和电压的参考方向的概念。基尔霍夫定律是本章的主要内容,它是学好电路和电工学的重要基础。

1.1 电路及其功能

1.1.1 电路及其组成

电路是电流流通的路径,它是把一些电器设备或元件按其所完成的功能用一定方式连接的组合。

电路通常由电源、负载和中间环节(也称连接体)三部分组成。

电源可将非电能(如化学能等)转换成电能给电路提供能量。负载是指电路中能将吸收的电能转换为非电能的用电设备,如电灯、电动机、电热器等。中间环节是指将电源与负载连接成闭合电路的导线、开关设备、保护设备等,它也常接有测量仪表或测量设备。图 1-1(a)是按实物做出的手电筒电路的示意图。这是最简单的实际电路。它由电源(干电池)、小电珠(负载)、开关(中间环节)及导线三部分组成。

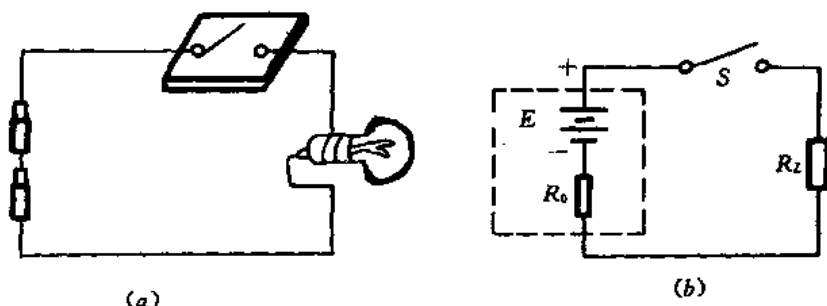


图 1-1 手电筒电路示意图

任何实际电路都是由多种电气元器件所组成。电路中各元器件所表征的电磁现象和能量转换的特征一般都比较复杂,而按实际电气元器件来做电路图有时是比较困难和复杂的。因此,在分析和计算实际电路时,是用理想电路元件及其组合来近似代替实际电气元器件所组成的实际电路。这种由理想电路元器件组成的、与实际电气元器件相对应的、并用统一规定的符号表示的电路,就是实际电路的模型,或称模型电路。图 1-1(b)就是手电筒电路的模型电路。今后所分析的都是模型电路,我们简称其为电路。

所谓理想电路元器件,是指在一定条件下忽略了次要因素以后,把电气元器件抽象为只

含一个参数的理想电路元器件,如以后书中所讨论的电阻元件 R 、电感元件 L 和电容元件 C 等。在图 1-1(b)中,干电池用虚线框内电动势 E 和内阻 R_0 及规定的图符来表示;负载小电珠则用电阻 R_L 和电阻图符表示;开关则用字母 S 及相应的图符表示;连接导线的电阻值非常小,一般均忽略不计可用直线表示。

1.1.2 电路的功能

电路的功能可概括为两大类:一是能量的传输或转换,如图 1-1 中电能通过导线传递给小电珠转换成光能。二是实现电信号的传递和处理。常用的例子如扩音机,其电路示意图如图 1-2 所示。其先由话筒把语音或音乐(通常称为信息)转换为相应的电压和电流,它们都是电信号。而后通过电路传递到扬声器,把电信号还原为语言或音乐。由于由话筒输出的电信号比较微弱,不足以推动扬声器发音,因此中间要用放大器来放大。信号的这种转换和放大,称为信号的处理。



图 1-2 扩音机

信号比较微弱,不足以推动扬声器发音,因此中间要用放大器来放大。信号的这种转换和放大,称为信号的处理。

1.2 电路的基本物理量及其参考方向

1.2.1 电流

电流是由电荷(带电粒子)有规则的定向运动而形成的。电流在数值上等于单位时间内通过某一导体横截面的电荷量。

设在极短的时间 dt 内通过导体横截面 S (图 1-3)的微小电荷量为 dq ,则电流为

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

上式表示电流是随时间而变化的,是时间的函数, i 称为瞬时电流。

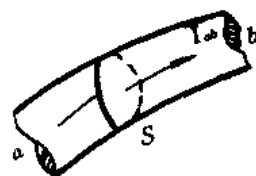


图 1-3 导体中的电流

若电流不随时间而变化,即 $\frac{dq}{dt}$ 为常数,则这种电流称为恒定电流,简称直流。直流常用大写字母 I 表示,故式(1-1)可改写为

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

在图 1-4 所示的一段金属导体中,负电荷(自由电子)在电场力的吸引下由 b 端向 a 端移动而形成电流,其效果与等量的正电荷在电场力的作用下由 a 端移到 b 端是一致的。因此,习惯上把导体中电流的实际方向(真实方向)定为正电荷在电场力作用下的运动方向或负电荷运动的相反方向。电流的方向是客观存在的。在分析较为复杂的直流电路时,往往难于事先判断某支路中电流的实际的方向;而对交流电路而言,电流的方向又是随时间而变化的。因此,在电路中无法用一个恒定方向来表示电流的实际方向。为了解决这个问题,我们引入了参考方向的概念。参考方向是任意选定某一方向作为电流的正方向。所选的电流正方向(即参考方向)并不一定与电流的实际方向一致。当电流的实际方向与其参考方向一致

时,电流为正值;反之,当电流的实际方向与其参考方向相反时,电流为负值。例如某段电路的电流为 2 A,说明该段电路电流的参考方向即为其实际方向;若电流为 -2 A,则数值前的负号表示该段电路电流的参考方向与实际方向相反。因此,在参考方向选定之后,电流的数值才有正负之分。

电流的参考方向可用两种方法表示,一是使用箭头,二是用双下标。见图 1-3, I_{ab} 即表示电流的参考方向是由 a 指向 b ;若电流的参考方向选为 b 指向 a ,则记为 I_{ba} ,两者之间相差一个负号,即

$$I_{ab} = -I_{ba} \quad (1-3)$$

在国际单位制(SI)中,电流的单位为安培(A),简称安。对于很小的电流可用毫安(mA)或微安(μ A)甚至纳安(nA)作单位,它们的关系是

$$1 \text{ A} = 10^3 \text{ mA} = 10^6 \mu\text{A} = 10^9 \text{ nA}$$

1.2.2 电压与电动势

在图 1-5 中,电池正极板 a 带正电荷,负极板 b 带负电荷,于是在极板 a, b 之间就存在

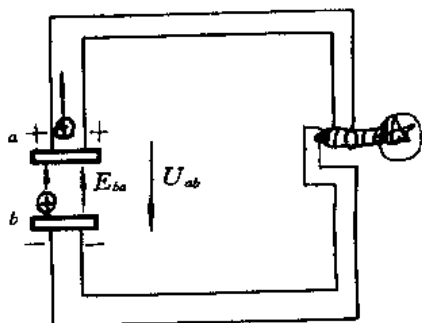


图 1-5 电荷运动回路

在电场内两点间的电压也常称为两点间的电位差,即

$$U_{ab} = V_a - V_b \quad (1-5)$$

式中 V_a 和 V_b 分别为 a, b 两点的电位。

在图 1-5 中,正电荷在电场的作用下,从高电位向低电位移动。这样,电极 a 因正电荷的减少而使电位逐渐降低,电极 b 因正电荷的增多而使电位逐渐升高,其结果是 a 和 b 两电极的电位差逐渐减小到等于零。与此同时,连接导体中的电流也相应地减小到等于零。

为了维持电流不断地在连接导体中流通,并保持恒定,则必须使 a, b 间的电压 U_{ab} 保持恒定,也就是要使电极 b 上所增加的正电荷经过另一路径流向电极 a 。但由于电场力的作用,电极 b 上的正电荷不能逆电场而上,因此必须要有另一种力能克服电场力而使电极 b 上的正电荷流向电极 a 。电源就能产生这种力,我们称它为电源力。电源力在电源内部若要

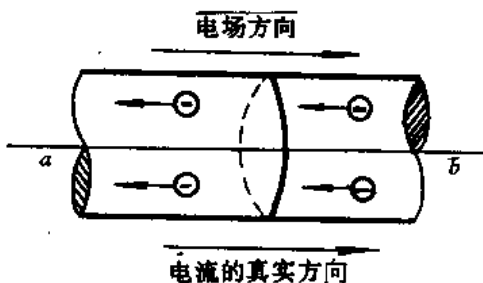


图 1-4 电流的真实方向

电场。若用导线将电源极板与负载灯泡相连,则正电荷就在电场力的作用下从 a 极经导线、灯泡移动到 b 板,形成电流并值灯泡发光,这说明电场力做了功。为了衡量电场力对电荷做功能力的大小,引入了电压物理量。其定义为: a, b 两点间的电压 U_{ab} 在数值上等于把单位正电荷从 a 点移到 b 点,电场力所做的功。用公式表示为

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

式中字母都用大写字母表示,说明 a, b 两点间的电压是直流电压。

断地把 b 极板上的正电荷从低电位点移动到高电位点,只有克服电场力做功,才能维持电路中持续不断的电流流通。为了衡量电源力对电荷做功的能力,我们引入电动势这一物理量。其定义为:电源电动势 E_{ab} 在数值上等于电源力把单位正电荷从电源的低电位点 b 经电源内部移到高电位点 a 所做的功。用公式表示则是

$$E_{ab} = \frac{W}{Q} \quad (1-6)$$

式中 Q 是电源内部由电源力移动的电量, W 是电源力所做的功。

比较式(1-5)与式(1-6),可见电动势与电压具有相同的单位,但两者的物理概念却不同。在电源内部电源力做功,将非电能转化为电能,建立电动势维持两极间电压;而在外电路,电场力做功,将电能转化为非电能。由于电源两极间存在电压,只要电路接通,电流就持续不断。在电源内部,电流由负极流向正极,即由低电位流向高电位;而在外电路,电流是由高电位流向低电位,即电位降落的方向。

随时间变化的电压其表示式为

$$u_{ab} = \frac{dw}{dq} \quad (1-7)$$

式中 q 为从 a 点移到 b 点随时间而变的电量; w 为电场力移动电荷 q 所做的功; u_{ab} 为瞬时电压。

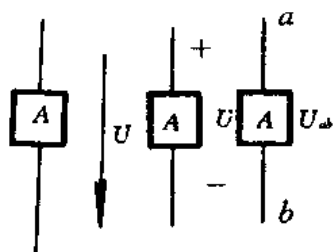


图 1-6 电压的表示法

电压和电动势均是标量,但在分析电路时,我们也说其具有方向。电压的方向规定为由高电位端指向低电位端,即电位降低的方向。电动势的方向规定为在电源内部由低电位端指向高电位端,即为电位升高的方向。

和电流一样,在电路图中所标的电压和电动势的方向均是参考方向(电压的参考方向也称参考极性)。在指定参考方向条件下,它们是有正值和负值之分的。当为正值时,表明电压或电动势的参考方向与实际方向相同;当为负值时,表明电压或电动势的参考方向与实际方向相反。电压和电动势的参考方向的表示方法有三种,见图 1-6 所示。

在国际单位制中,电压的单位为伏特(V),简称伏。也可用千伏(kV)、毫伏(mV)或微伏(μV)作单位,其关系是

$$1 \text{ kV} = 10^3 \text{ V} \quad 1 \text{ V} = 10^3 \text{ mV} = 10^6 \mu \text{V}$$

按参考方向求得的电压和电流值有两种可能:若为正值,说明参考方向与实际方向一致;若为负值,则说明参考方向与实际方向相反。必须指出,电路中设定的电流和电压的参考方向无论是上述两种情况的哪一种,都不会影响电路分析的正确性。但是未标明电路中电流和电压的参考方向来讨论电流或电压的正、负值是没有意义的。

但为使分析计算方便,对同一电路的无源元件如电阻元件,若设定了电流的参考方向,则将其电压的参考方向设定得与电流的参考方向一致,即所谓的关联参考方向;若将其电压的参考方向设定得与电流的参考方向相反,即所谓的非关联参考方向。在图 1-7 中,电阻两端的电压与电流的参考方向,电动势与电流的参考方向均被设定为关联参考方向(注意电源两端的电压与电流却是非关联方向)。

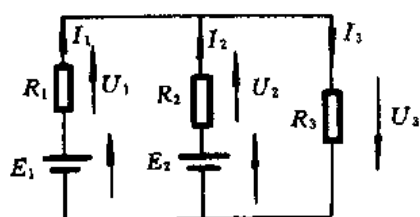


图 1-7 电流、电压的参考方向

1.2.3 功率

在电工学中,功率也称为电功率。功率和电能的计算也是分析计算电路的一个重要方面。

在图 1-8 中,电源电动势 E 提供电能,如果内阻很小,可忽略,负载电阻 R 消耗电能。根据电压的定义可知,正电荷 $Q(=It)$ 在电场力作用下,由 a 点通过 R 移到 b 点时,电场力所做的功为

$$W = UQ = UI t \quad (1-8)$$

这个功 W 就是电阻 R 在时间 t 内所吸收的电能,并全部转换成热能 W_R ,而以热量的形式散发到周围。所以电阻中的热能 $W_R = W = UI t$ 。

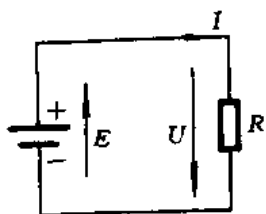


图 1-8 功率的计算

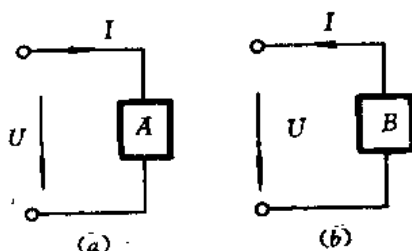


图 1-9 判定功率的性质

电阻吸收的功率用 P_R 表示,它是单位时间内电阻吸收的电能,即

$$P_R = \frac{W_R}{t} = UI \quad (1-9)$$

由式(1-9)知,某元件的功率等于其两端电压与其上通过的电流的乘积。

在国际单位制中,功率的单位用瓦特表示,简称瓦(W)。1 W 功率等于每秒产生(或消耗)1 焦耳(J)的功。工程上,常用千瓦时(kWh)表示 t 时间内产生(或消耗)电能的单位。1 kWh 又称 1 度电。

在图 1-8 所示的电路中,电源电动势 E 、电阻 R 两端的电压 U (这实际上也是电源两端的电压)以及电路中电流 I 的参考方向均和实际方向相同。用式(1-9)求得电阻 R 消耗的功率 P_R 和电源产生的功率 P_E ($P_E = \frac{W_E}{t} = \frac{EQ}{t} = \frac{EIt}{t} = Et$)相等,这是符合功率平衡关系的。由此,可得如下结论:当元件两端的电压与其中的电流两者的实际方向相同时,该元件消耗功率;反之,该元件产生或发出功率。

若不知道电路中元件电压和电流的实际方向,应如何根据参考方向来计算该元件的功率,又怎样根据计算结果来判断该元件在电路中是电源还是负载呢?这就要归结到讨论功率的正、负值问题,以及如何根据功率的正、负值来判定该元件在电路中的性质(消耗功率还是产生功率)。

在图 1-9(a)中,元件 A 的电压和电流设定为关联方向,则根据 $P = UI$ 公式计算其功率时,若 U 和 I 两者的参考方向与实际方向相同(U 、 I 均取正值)或相反(U 、 I 均取负值),则

计算结果必为 $P > 0$ (正值)。这说明元件 A 的电压、电流实际方向是一致的, 元件 A 是负载性质, 即它可以是负载电阻或是处于充电的电源。若 U 和 I 其中一个的参考方向与实际方向相同, 一个参考方向与实际方向相反, 即 U 和 I 有一个量为负值, 则计算结果必为 $P < 0$ (负值)。这说明电流和电压的实际方向相反, 则元件 A 产生或发出功率, 因此是电源。

在图 1-9(b) 中, 元件 B 的电流、电压设定为非关联方向, 则计算功率的公式为

$$P = -UI \quad (1-10)$$

若 U 和 I 均取正值或负值, 则 $P < 0$, 说明元件 B 的电压与电流的实际方向确是相反的, 故元件 B 产生功率, 是电源。若 U 和 I 其中一量为负值时, 则 $P > 0$, 说明元件 B 的电压与电流的实际方向是一致的, 它消耗功率, 在电路中是负载。

综上所述, 可得如下结论:

1. 当元件两端的电压和电流的参考方向为关联方向时, 用 $P = UI$ 来计算元件的功率; 当元件两端的电压和电流的参考方向为非关联方向时, 则用 $P = -UI$ 来计算元件的功率。
2. 按上述条件计算, 若 $P > 0$, 该元件在电路中消耗功率, 是负载; 若 $P < 0$, 该元件在电路中产生功率, 是电源。

例 1-1 在图 1-10(a) 中, 三个元件代表了电源或负载电阻, 图中已标出各元件电压和电流的参考方向。已知 $U_1 = 2 \text{ V}$, $U_2 = -2 \text{ V}$, $U_3 = 2 \text{ V}$; $I_1 = 2 \text{ A}$, $I_2 = -3 \text{ A}$, $I_3 = 5 \text{ A}$, 求 (1) 标出各电流的实际方向和电压的实际极性; (2) 各元件是作为电源还是作为负载?

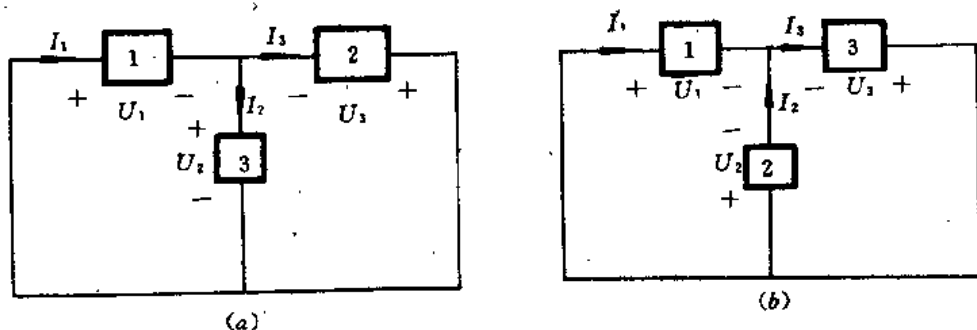


图 1-10

解: (1) 图中各元件均标出电流和电压的参考方向。已知 U_1 、 U_3 、 I_1 、 I_3 为正值, 说明它们的实际方向与参考方向一致。 U_2 和 I_2 为负值, 说明它们的实际方向与参考方向相反。因而得出如图 1-10 (b) 中各元件电压、电流的实际方向。

(2) 元件 1 的电流和电压是关联参考方向, 故 $P_1 = U_1 I_1 = 2 \times 2 = 4 \text{ W} > 0$ 。这说明元件 1 消耗功率, 是负载。

元件 2 的电流和电压是关联参考方向, 故 $P_2 = U_2 I_2 = (-2) \times (-3) = 6 \text{ W} > 0$ 。这说明元件 2 消耗功率, 是负载。

元件 3 的电流和电压是非关联参考方向, 故 $P_3 = -U_3 I_3 = -2 \times 5 = -10 \text{ W} < 0$ 。这说明元件 3 产生功率, 是电源。

由计算结果知, 该电路产生的功率和消耗的功率符合功率平衡的关系, 即 $|P_1 + P_2| =$

$|P_3|$ 。

1.3 电阻元件

电阻元件是实际电阻器的理想化模型。所谓理想,就是突出元件的主要电磁性质,而忽略次要因素。电阻元件的基本特性是其电压与电流可用代数函数 $u=f(i)$ 或 $i=g(u)$ 来表示。其中 i 为流经电阻元件的电流, u 为电阻元件的端电压。因此,电阻元件的确切定义应为:电压和电流的关系可用代数函数表示的元件称为电阻元件。元件的电压和电流关系常简称为伏安关系。电阻元件的伏安关系具有代数函数形式,这意味着电阻元件某瞬时的电流只与该瞬时的电压有关,而与该瞬时以前的情形无关,因此电阻常称为瞬时元件或无记忆元件。

电阻元件的伏安关系可用 $u-i$ 平面上的图形来表示,称为元件的伏安特性曲线。图 1-11(a) 是某电阻元件的伏安特性曲线,这种元件称为非线性电阻元件,我们将在第二章中讨

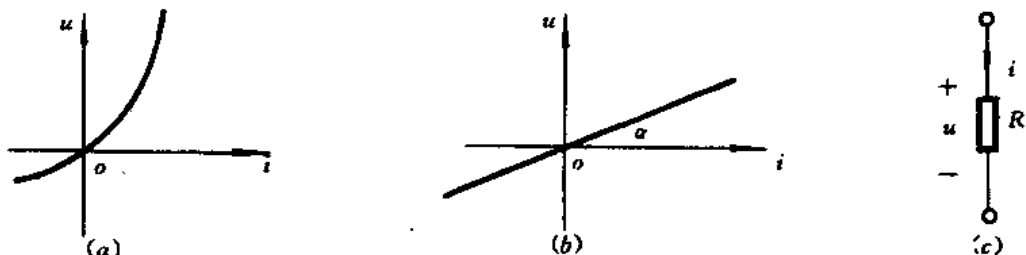


图 1-11

论。如果元件的电流与电压成正比,则其伏安特性曲线是一条通过原点的直线,如图 1-11(b) 所示,则该元件称为线性电阻元件。线性电阻元件的符号可用图 1-11(c) 表示。在(c)图所示的关联参考方向条件下,线性电阻的欧姆定律可写成

$$u = Ri \quad (1-11a)$$

或

$$i = Gu \quad (1-11b)$$

其中

$$G = 1/R \quad (1-11c)$$

R 表示元件的电阻值,单位是欧姆,简称欧,用 Ω 表示; G 表示元件的电导值,单位是西门子,简称西,用 S 表示。电阻值和电导值统称为元件的参数。在应用式(1-11)时,一定要注意 u, i 取关联方向。若 u, i 取非关联方向,则应有 $u = -Ri$ 或 $i = -Gu$ 。

在图 1-11(b) 中,电阻值为

$$R = \frac{u}{i} = \frac{m_u}{m_i} \tan \alpha \quad (1-12)$$

其中 m_u 和 m_i 分别为电压轴和电流轴的比例尺, α 是伏安特性直线与电流轴的夹角。可见,线性电阻元件的电阻值(电导值)是一个与电流、电压无关的常数,所以,用电阻值(电导值)便足以表示元件的性质与作用。给定线性电阻元件的电阻值(电导值)后,其电流与电压的关系便可确定。 $R=0(G=\infty)$ 的一段电路称为短路。若通以有限电流,其端电压恒为零,可见短

路的伏安特性线与电流轴重合。电路中出现 $R=\infty (G=0)$ 的地方称为开路。在有限电压作用下, 开路处电流恒为零, 其伏安特性线与电压轴重合。

由式(1-9)和式(1-11)可得电阻元件的功率为

$$P = ui = i^2 R = \frac{u^2}{R} \quad (1-13a)$$

或
$$P = u^2 G = \frac{i^2}{G} \quad (1-13b)$$

通常 $R>0$, 所以 $P>0$ 。这说明电阻元件总在消耗电功率, 它是一种耗能元件, 具有把电能转换成热能特性。

在 t_1 至 t_2 期间内, 电阻元件消耗的电能为

$$W = \int_{t_1}^{t_2} p dt = \int_{t_1}^{t_2} u i dt = R \int_{t_1}^{t_2} i^2 dt = G \int_{t_1}^{t_2} u^2 dt \quad (1-14)$$

在直流电情况下, 式(1-14)为

$$W = P(t_2 - t_1) = UI(t_2 - t_1) = I^2 R(t_2 - t_1) = GU^2(t_2 - t_1)$$

实际电阻元件在工作时, 如果电流太大或电压过高, 会因发热厉害而被烧毁。所以电阻都规定有电流、电压或功率的额定值(又叫标称值)。额定值是电器工作的最佳值, 是制造厂家提供的, 是规定设备运行时所允许的上限值, 故使用时不能超过, 当然也不宜低于额定值工作。

例 1-2 有一电阻炉, 额定功率为 800 W, 额定电压为 220 V, 求其额定电流及其电阻值。

解: 在电工技术中, 用下标“N”表示额定值。根据 $P=UI=I^2R$ 可求得额定电流及电阻值分别为

$$I_N = \frac{P_N}{U_N} = \frac{800}{220} = 3.64 \text{ A}$$

$$R = \frac{U_N^2}{P_N} = \frac{220^2}{800} = 60.5 \Omega$$

1.4 电容元件

电容器是由两块金属极板, 中间隔以绝缘材料构成的, 如图 1-12(a)所示。在两极板上施加电压 $u(t)$, 则接高电位的极板充以正电荷, 电量为 $q(t)$, 接低电位的极板充以等量的负电荷。理论上定义: 电量 $q(t)$ 与电压 $u(t)$ 之间具有代数函数关系的元件, 称为电容元件, 其符号如图 1-12(b)所示。电容元件的特性可以用 $q-u$ 平面上图形表示, 称为库伏曲线。这条曲线可能是通过原点的直线, 如图 1-12(c); 也可能是曲线, 如图 1-12(d)。前者称为线性电容元件, 后者称为非线性电容元件。若无特殊声明, 今后涉及的电容均为线性电容元件。

线性电容的电量 q 与其端电压 u 成正比, 则比例常数 C 称为电容器的容量, 简称电容, 即

$$q(t) = Cu(t) \quad (1-15)$$

当电量的单位为库仑(C), 电压单位为伏特(V)时, 电容的单位是法拉(F), 有时也用微法

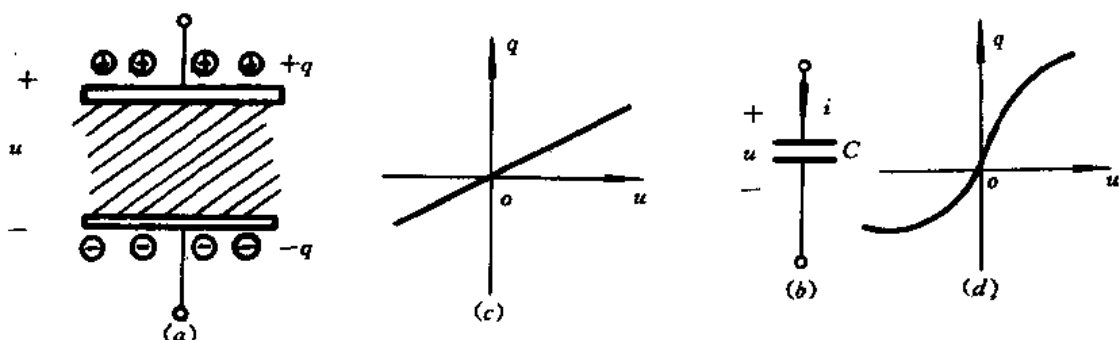


图 1-12

(μF)和皮法(pF)。它们之间的关系是

$$1 \mu\text{F} = 10^{-6} \text{F} \quad 1 \text{pF} = 10^{-12} \text{F}$$

在直流电路中,电容元件端电压不变,储存在极板上的电量及介质中的电场都不随时间变化,导线中没有电荷移动,因而没有电流,故电容元件对直流相当于开路。但是,如果在电容元件两端加上交流电压,当电压增加,元件储存的电量增加,这个过程叫做充电;当电压减小,元件储存的电量减少,这个过程叫做放电。元件在反复充放电的过程中,储存的电荷随之增加或减少,因而在导线中,必然有电荷的移动从而形成电流。由式(1-1)可知

$$i = \frac{dq}{dt}$$

又由式(1-15)得 $q(t) = Cu(t)$, 因而电容元件在 u 和 i 为关联方向条件下的伏安关系式为

$$i = C \frac{du}{dt} \quad (1-16)$$

上式表明,电容元件的电流与其端电压的导数成正比。

如果用电流表示电压,则式(1-16)的关系又可以写成

$$u(t) = \frac{1}{C} \int_{-\infty}^t i dt = \frac{1}{C} \int_{-\infty}^0 i dt + \frac{1}{C} \int_0^t i dt$$

如令

$$u(0) = \frac{1}{C} \int_{-\infty}^0 i dt$$

则得

$$u(t) = u(0) + \frac{1}{C} \int_0^t i dt \quad (1-17)$$

式中 $u(0)$ 是 $t=0$ 时的电容电压。式(1-17)表明,时间 t 时的电容电压不仅与初始电压 $u(0)$ 有关,而且与 0 至 t 时间内电流的所有可能值有关。由于电容器的这种性质,人们把电容器叫做有记忆本领的元件。如果 $t=0$ 时,电容电压为零,由式(1-17)得

$$u(t) = \frac{1}{C} \int_0^t i dt$$

电容元件吸收的瞬时功率为

$$p(t) = ui = Cu \frac{du}{dt}$$

随着端电压的增加,电容元件吸收的电能 W_c 等于对瞬时功率的积分,即

$$W_c = \int_{-\infty}^t p dt = \int_{-\infty}^t Cu \frac{du}{dt} \cdot dt = \frac{1}{2} C [u^2(t) - u^2(-\infty)]$$

由于 $u(-\infty)=0$,则有

$$W_c = \frac{1}{2} Cu^2 \quad (1-18)$$

上式说明,电容元件储存的能量与电压的平方成正比,与电压的建立过程无关。电压增加时,瞬时功率为正,能量增加,电源供给的能量转换为电场能量储存在电容中。电压减小时,瞬时功率为负,能量减少,储存的电场能量以某种方式被释放出来。因此,电容是不消耗能量的储能元件。

例 1-3 图 1-13(a)所示的电容元件 $C=1\text{ F}$ 。已知 $u(0)=0$,外施电流的波形如图 1-13(b)所示,求电压 u ,并画出其波形。

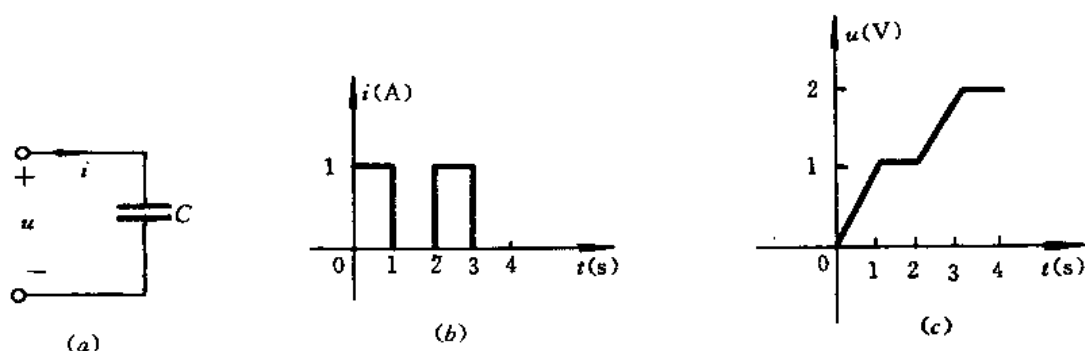


图 1-13

解:先写出外施电流 i 的表达式为

$$i = \begin{cases} 1\text{ A} & 0 < t < 1 \\ 0 & 1 < t < 2 \\ 1\text{ A} & 2 < t < 3 \\ 0 & 3 < t \end{cases}$$

由式(1-17)可得

$$u(t) = u(0) + \frac{1}{C} \int_0^t i dt = \begin{cases} u(0) + \int_0^t 1 dt = t & 0 \leq t \leq 1 \\ u(1) + \int_1^t 0 dt = u(1) = 1 & 1 \leq t \leq 2 \\ u(2) + \int_2^t 1 dt = 1 + t - 2 = t - 1 & 2 \leq t \leq 3 \\ u(3) + \int_3^t 0 dt = u(3) = 2 & t \geq 3 \end{cases}$$

由此可画出 $u(t)$ 的波形如图 1-13(c)所示。可见,来一个电流脉冲后,电容电压增加 1 V,由电压的数值即可知道通过电流脉冲的个数。通过此例我们可进一步体会到电容电压记忆电流的作用。