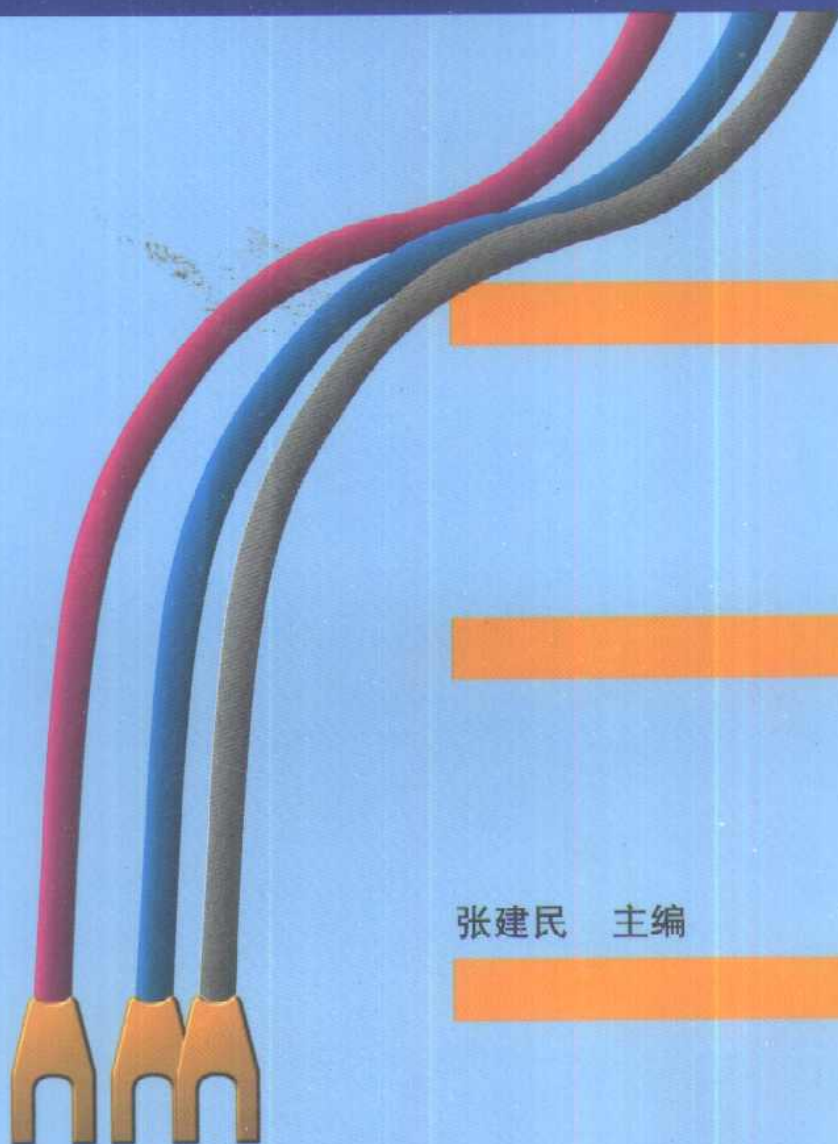


高 等 学 校 教 材

电工技术

DIANGONG JISHU



张建民 主编

711-42

三三二

高等学校教材

电工技术

张建民 贾义侠 杨铁梅 编

国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

为了配合大学生素质教育教学工作,我们根据国家教委 1995 年底提出的“面向 21 世纪高等工程教育内容与课程体系改革计划”要求,编写了《电工技术》一书。本书内容覆盖电路模型和电路定律、电路分析方法、电路的时域分析、正弦交流电路、三相电路、磁路与铁心线圈电路、交流电动机、直流电动机、继电器触器控制系统、可编程控制器及其应用等有关内容。这些内容为深入学习后序课程,适应现代科学技术的发展奠定了理论基础。

本书的主要读者对象是高等工科院校非电类专业本科生,同时亦可作为大专学生,职工大学学生,工程技术人员等系统学习电工技术的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电工技术/张建民主编. —北京:国防工业出版社,2001.9

ISBN 7-118-02602-6

I. 电... II. 张... III. 电工技术 IV. TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 044876 号

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

北京奥隆印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787 × 1092 1/16 印张 16 $\frac{1}{4}$ 388 千字

2001 年 9 月第 1 版 2001 年 9 月北京第 1 次印刷

印数:1—5000 册 定价:22.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

前 言

1995 年底国家教委提出改革教育思想和教育观念,改革人才培养模式,研究和改革基础课、主干课程的教学内容和体系,并同时研究和改革教学手段和教学方法,把教学内容和课程体系及教学方法建立在现代教育技术的平台上。为了密切配合高等院校素质教育计划,推进机电一体化的全面实施,我们编写了高等工科院校非电类专业本科生《电工技术》、《电子技术》配套教材。

编写本教材的基本原则是:重视基础理论,扩大最新技术应用,适应各学科的不同要求,注意采用启发式教学,为发挥学生积极性留出较大的思维空间。

随着现代科学技术的迅速发展,“电工技术”这门重要技术基础课日益体现出应用、推广的价值。为了照顾不同专业的需要,考虑到非电类专业学生的特点,我们在编写这套教材时,尽量接近工程实际并反映科学技术发展的新形势。在例题、习题的选择上与工程实际相结合,对生产应用中许多实际电路现象给出思考题,为学生的理论联系实际留有较大的想象空间。本书在直流电路、交流电路、电路的时域分析等章节中,尽量压缩繁琐的理论推导,直接给出工程应用的实际模型;在电机及电机控制等章节中,重点强调各种电机的使用特性及电机控制特性。最后较详细地介绍了可编程控制器(PLC)的基本原理。

本书是按 60~70 学时类型编写。讲授与实验的比例约为 5:2。

书中带 * 的内容属于加宽、加深内容,可由教师根据专业特点和学时数决定取舍。为便于教学,书中各章均有内容简介和小结,书后附有部分习题答案供参考。

本书第 1、2 章由太原重型机械学院电子信息分院杨铁梅编写;第 3、4、5 章由张建民编写;第 6、7、8、9、10 章由贾义侠编写;全书由张建民担任主编,由王皖贞担任主审。曾建潮、李永堂、张井岗、陶元芳、孙志毅、李临生、王台惠、卓东风、袁竹云、董增寿等同志对本书的编写提出了宝贵意见,编者在此表示诚挚的感谢。

由于编者水平有限,不妥和错误之处在所难免,恳请读者及同行老师批评指正。

编 者

目 录

第 1 章 电路模型和电路定律	1
1.1 电路与电路模型	1
1.2 电流、电压、电位	2
1.3 电功率	5
1.4 电阻元件	7
1.5 电压源和电流源	9
1.6 基尔霍夫定律	14
1.7 简单的电阻电路	19
习题	24
第 2 章 电路分析方法	28
2.1 电压源、电流源电路的等效变换	28
2.2 电阻星形、三角形联接的等效变换	33
2.3 支路电流法	35
2.4 节点电压法	37
2.5 叠加原理	38
2.6 戴维南定理和诺顿定理	41
* 2.7 最大功率传递定理	44
2.8 受控电源电路	46
2.9 非线性电阻电路的分析	48
习题	51
第 3 章 电路的时域分析	55
3.1 时域分析和暂态过程	55
3.2 初始值和稳态值的确定	56
3.3 RC 电路的时域分析	62
3.4 RL 电路的时域分析	71
3.5 一阶电路的三要素法	76
3.6 一阶 RC 电路对特殊信号的响应	83
习题	86
第 4 章 正弦交流电路	91
4.1 正弦交流电路的基本概念	91
4.2 交流电的有效值	93
4.3 正弦量的相量表示法	95

4.4	电阻、电感、电容元件的交流特性	99
4.5	RLC 串联的正弦交流电路	104
4.6	正弦交流电路的功率	110
4.7	RLC 并联交流电路	112
4.8	复杂交流电路的分析和计算	114
4.9	功率因数的提高	117
4.10	正弦交流电路中的谐振	119
* 4.11	非正弦周期电流电路	124
* 4.12	RC 电路的频域分析	128
	习题	131
第 5 章	三相电路	135
5.1	三相电源	135
5.2	负载星形联接的三相电路	138
5.3	负载三角形联接的三相电路	143
5.4	三相负载接于三相电源的原则	147
5.5	三相电路的功率	147
	习题	150
第 6 章	磁路与铁心线圈电路	152
6.1	磁场的基本物理量	152
6.2	磁性材料的磁性能	153
6.3	磁路及其基本定律	155
6.4	交流铁心线圈电路	156
6.5	变压器	159
* 6.6	特殊变压器	165
	习题	169
第 7 章	交流电动机	171
7.1	三相异步电动机的构造	171
7.2	三相异步电动机的转动原理	173
7.3	三相异步电动机的转矩与机械特性	178
7.4	三相异步电动机的启动	182
7.5	三相异步电动机的调速	185
7.6	三相异步电动机的制动	188
7.7	三相异步电动机的铭牌数据与选择	189
* 7.8	其它类型电机简介	194
	习题	201
第 8 章	直流电动机	203
8.1	直流电动机的构造	203
8.2	直流电动机的基本工作原理	204
8.3	直流电动机的机械特性	206

8.4 并励电动机的启动与反转	207
* 8.5 并励(他励)电动机的调速	209
习题	212
第 9 章 继电器接触器控制系统	214
9.1 常用控制电器	214
9.2 鼠笼式电动机直接启动的控制电路	224
9.3 鼠笼式电动机正反转的控制线路	226
9.4 行程控制	228
9.5 时间控制	229
9.6 应用举例	230
9.7 安全用电	231
习题	235
第 10 章 可编程控制器及其应用	237
10.1 PLC 的主要功能及特点	237
10.2 可编程控制器的基本结构和工作原理	239
10.3 PLC 程序的编制	242
* 10.4 OMRON 公司 C20 指令系统及程序设计方法	247
* 10.5 应用举例	252
习题	256
部分习题参考答案	257
参考文献	262

第 1 章 电路模型和电路定律

内容提要

本章介绍电路模型的概念和电压、电流参考方向的概念及吸收、发出功率的计算方法,并介绍电压源、电流源、电阻等电路元件。

基尔霍夫定律是电路的基本定律,包括电流定律和电压定律,它与电源的工作状态、电位的计算以及简单电阻电路的计算都是分析与计算电路的基础,是本章的重要内容。

1.1 电路与电路模型

电在日常生活、工农业生产、科研以及国防等各个方面都有广泛的应用。电路就是电流所流经的路径,它是为了某种需要而由一些电路器件相互联接构成。所谓电路器件是指实际的电路部件,如电动机、电灯、电炉、变压器、开关、电池、发电机等等。如图 1.1.1 所示的电力系统就是一个典型的电路。

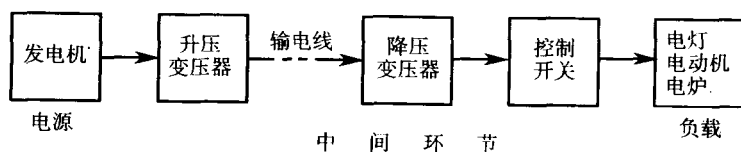


图 1.1.1 电力系统示意图

电路中所使用的各种器件,按其工作时表现出的电特性可以分为电源、负载、中间环节。

电源如发电机、干电池、蓄电池、光电池等工作时,将热能、光能、水能、化学能等其它形式的能量转换成电能,向电路供应电能。

负载如电灯、电动机、电炉等工作时,将电能转换成光能、机械能、热能等其它形式的能量,取用电能。

中间环节如变压器、输电线、控制开关等,连接负载和电源,实现电能的传输和转换。

电路的结构形式多种多样,所能完成的任务也各不相同,它所起的作用有以下几种:(1)进行能量转换。如图 1.1.1 所示,发电机将热能、水能或核能转化为电能,而电灯、电炉将电能转换为热能、光能。(2)传递和处理信号。如图 1.1.2 所示的扩音机电路。先由话筒把语言

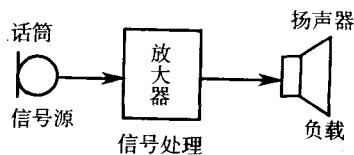


图 1.1.2 扩音机电路示意图

或音乐信息转换为相应的电压和电流信号,即电信号。话筒是输出信号的设备,称为信号源,与发电机这种电源不同,信号源输出的电信号的变化规律是取决于所加的信号的。由于话筒输出的电信号比较微弱,不足以推动扬声器发音,因此需要用放大器进行放大。扬声器再将电信号还原为语言或音乐。信号的这种转换和放大,称为信号的处理。(3)测量电量。例如万用表电路就是专为测量元件的阻值、电压、电流而设计的。(4)存储信息。例如计算机的存储器电路,可以存储程序和数据信息。

无论是在电能的传输和转换、或者信号源的传递和处理过程中,电源或信号源的电压或电流能推动电路工作,称之为激励;由于激励的作用在电路各部分所产生的电压和电流,称为响应。所谓电路分析,就是在已知电路的结构和元件参数的条件下,讨论电路的激励与响应的关系。有时,根据激励和响应之间的因果关系,将激励称为输入,将响应称为输出。

构成实际电路的电路器件的电磁性质比较复杂,例如白炽灯,不仅具有消耗电能的性质,即电阻性,而且当电流流过时还会产生磁场,说明它还具有电感性质,但是电感微小,可以忽略不计,因此可以将白炽灯作为电阻元件。

为了便于对实际电路进行分析,就要将实际的电路器件理想化,即在一定条件下,突出其主要的电磁性质,忽略其次要因素,由这样一些理想的电路元件或它们的组合所组成的电路,就是实际电路的电路模型。

理想的电路元件主要有电阻元件、电感元件、电容元件和电源元件等,分别由相应的参数 R 、 L 、 C 、 U_S (电压) 或 I_S (电流) 表征。它们通过端子与外部电路相联接,根据端子的数目,理想的电路元件可以分为二端元件、三端元件及四端元件。其中,电阻元件、电感元件、电容元件均为二端元件,三极管为三端元件,变压器是四端元件。

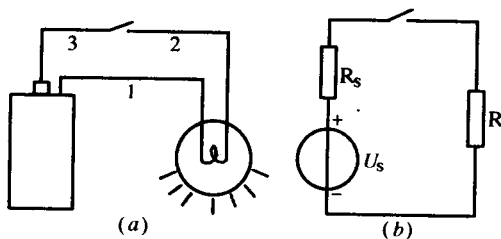


图 1.1.3 手电筒电路与电路模型

(a) 手电筒实际电路; (b) 手电筒电路模型。

图 1.1.3(a) 所示是一个常用的手电筒的实际电路,由一个电源(干电池)、一个负载(小灯泡)、三根连接导线及一个开关构成,其电路模型如图 1.1.3(b) 所示,干电池用电压源 U_S 和电阻元件 R_S 的串联组合来表示,电阻元件 R 表示小灯泡,而连接导线在电路模型中用相应的理想导线或线段来表示,其电阻为 0。

今后本书所说的电路一般都是指由理想电路元件构成的电路模型,而不是实际电路,简称之电路。同时把理想的电路元件简称为电路元件,在电路图中用规定的图形符号表示。

1.2 电流、电压、电位

1.2.1 电流

电流是由电荷有规则地定向流动形成的,电流的大小用电流强度表示。通常把正电

荷运动的方向作为电流的实际方向。在电路分析中,有时对某一段电路中电流的实际流动方向很难预先判断出来,在有些情况下,电流的实际方向还在不断地随时间改变,难以在电路中用一个方向表示电流的实际方向,因此引入了电流的参考方向这一概念。

在电路分析中,我们可以任意选定一个方向作为电流的方向,这个方向就叫做电流的参考方向(图 1.2.1 中用实线表示),当然,所选的方向并不一定就是电流的实际方向(图 1.2.1 中用虚线表示)。当电流的参考方向与实际方向相同时,电流为正值,即 $i > 0$,如图 1.2.1(a) 所示。反之,若电流的参考方向与实际方向相反,则电流为负值,即 $i < 0$,如图 1.2.1(b) 所示。这样电流的值就有正有负,是个代数量,其正负就可以反映电流的实际方向与参考方向的关系。

电流的参考方向一般用箭头表示,既可以画在线上,如图 1.2.2(a) 所示,也可以画在线外,如图 1.2.2(b) 所示,还可以用双下标表示,比如 i_{ab} 表示电流的参考方向是由 a 点指向 b 点。

如果电流的大小和方向均不随时间变化,这种电流叫做恒定电流,也叫直流电流,用大写字母 I 表示。如果电流的大小或方向随时间变化,称为交变电流,也称交流电流,用小写字母 i 或 $i(t)$ 表示。

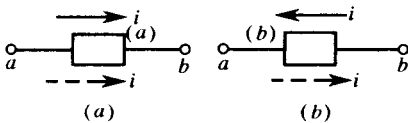


图 1.2.1 电流的参考方向

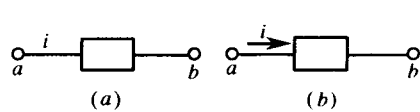


图 1.2.2 电流参考方向的表示方法

1.2.2 电压

电场力把单位正电荷由 a 点移动到 b 点所做的功,就是 a 、 b 两点之间的电压 U_{ab} 。两点之间的电压也称为两点之间的电位差:即:

$$U_{ab} = V_a - V_b \quad (1.2.1)$$

式(1.2.1)中, V_a 为 a 点的电位, V_b 为 b 点的电位,电压是标量,但在分析电路时,我们也说它具有方向,电压的实际方向规定为由高电位端指向低电位端。

与电流的参考方向类似,电压的参考方向也可以任意选取。同样,所选的参考方向并不一定就是电压的实际方向。当电压的参考方向(用实线表示)与实际方向(用虚线表示)相同时, $u > 0$, 电压为正值,如图 1.2.3(a) 所示;当电压参考方向与实际方向相反时, $u < 0$, 电压为负值,如图 1.2.3(b) 图所示。同理,电压的值有正有负,是个代数量,其正负表示电压的实际方向与参考方向的关系。

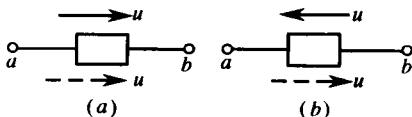


图 1.2.3 电压的参考方向

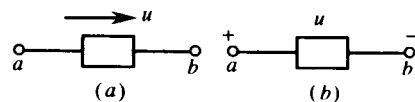


图 1.2.4 电压与电流参考方向的表示方法

两点之间电压的参考方向既可以用箭头表示,也可以用正(+)、负(-)极性表示,如图 1.2.4 所示,正极指向负极的方向也即电压的参考方向,还可以用双下标表示,如 u_{ab} 表

示 a 、 b 间电压的参考方向由 a 指向 b 。

大小和方向不随时间变化的电压称为恒定电压,也称直流电压,用大写字母 U 表示。如果电压的大小或方向随时间变化,称为交变电压,也称交流电压,用小写字母 u 或 $u(t)$ 表示。

1.2.3 电压与电流的关联参考方向

进行电路分析时,对于一个元件,我们既要为通过元件的电流选取参考方向,又要为元件两端的电压选取参考方向,两者是相互独立的,可以任意选取,也就是说,它们的参考方向可以一致,也可以不一致,如果一致,即电流的参考方向与电压的参考方向的正(+)极到负(-)极的方向一致,称之为关联参考方向,见图 1.2.5(a)所示,如果不一致,称之为非关联参考方向,见图 1.2.5(b)所示。

当选取电压、电流方向为关联参考方向时,电路图上只需标出电流的参考方向或电压的参考方向,如图 1.2.6 所示的是两种等效的表示方法。

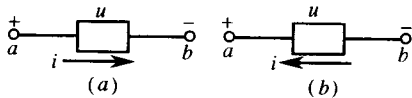


图 1.2.5 电压与电流的关联参考方向

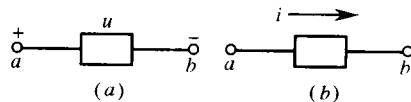


图 1.2.6 关联参考方向的表示方法

1.2.4 电位

对于 a 、 b 两点之间的电压 U_{ab} ,可以表示成 a 、 b 两点之间的电位 V_a 与 V_b 之差,见式(1.2.1)。

式中,令 $V_b = 0$,即选取 b 点作为零电位点,得到:

$$U_{ab} = V_a$$

说明, a 点的电位就是 a 、 b 两点之间的电压值。

因此,在电路分析中,电路中某点的电位通常这样计算:在电路中选择一点做为参考点,它的电位即参考电位,令参考电位为零,则某一点的电位就是该点与参考点之间的电压。

在电路图中的参考点上标注“ \perp ”,即接地符号,但并非表示该点真正与大地相接,仅仅表示该点的电位为零,因此与电路中其余各点的电位相比较,比参考点高的电位为正,比参考点低的电位为负。

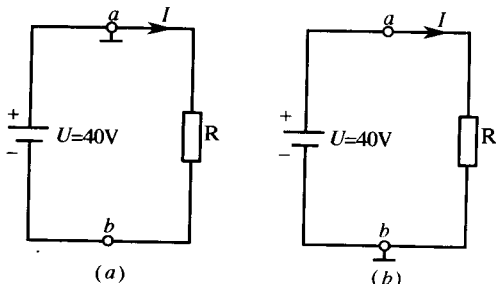


图 1.2.7 电位、电压与参考点关系
(a)以 a 为参考点;(b)以 b 为参考点。

在图 1.2.7(a)中,如果选取 a 点作为参考点,即 $V_a = 0$,得出:

$$U_{ba} = V_b - V_a = -40\text{V}$$

即: $V_b = -40\text{V}$

而在图 1.2.7(b)中,选取 b 点作为参考点,即 $V_b = 0$,得出:

$$U_{ab} = V_a - V_b = 40\text{V}$$

即: $V_a = 40\text{V}$

通过对计算结果进行比较,可以得到以

下结论:

(1)参考点选取的不同,电路中各点的电位硬随着不同,也就是说,某一点的电位与参考点的选取密切相关。

(2)参考点选取的不同,并不影响两点之间电压的大小,即两点之间电压的大小与参考点的选取无关。

在国际单位制中,电流的单位是安培(A),电压、电位的单位是伏特(V)。实际应用中有时感到太大,有时又感到太小,无法满足实际需要,因此在单位前面加上词头构成辅助单位,这里列出一些常用单位:

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

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

$$1 \text{ 毫安(mA)} = 10^3 \text{ 微安}(\mu\text{A})$$

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

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

$$1 \text{ 毫伏(mV)} = 10^3 \text{ 微伏}(\mu\text{V})$$

【练习与思考】

1.2.1 根据图 1.2.8 中所示的参考方向及给定的值,作出各元件中电压、电流的实际方向。

1.2.2 在图 1.2.9 中,计算 U_{ab} 等于多少伏,计算 a 、 b 、 c 三点的电位。

1.2.3 在图 1.2.9 中, b 点的电位是否等于 -13V ? 为什么?

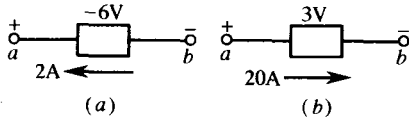


图 1.2.8 练习与思考 1.2.1 图

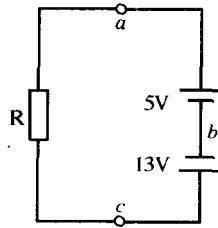


图 1.2.9 练习与思考 1.2.2 图

1.3 电 功 率

在电路中,负载吸收电能,并将电能转换成其它形式的能量,而电源是将其它形式的能量转换成电能,也就是向电路提供电能,是发出电能的设备。电功率是单位时间内元件所吸收或者发出(释放)的电能,简称为功率。

如图 1.3.1 所示,从 t_1 到 t_2 时间内,元件吸收的电能可根据电压的定义得到:

$$W = \int_{q(t_1)}^{q(t_2)} u dq \quad (1.3.1)$$

根据电流强度的定义(电流强度等于单位时间内通过导体横截面的电量)得知:

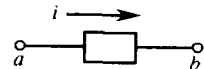


图 1.3.1 功率

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

将此式代入式(1.3.1)得:

$$W = \int_{t_1}^{t_2} u(t)i(t)dt \quad (1.3.2)$$

式中 $u(t)$ 、 $i(t)$ 都是时间 t 的函数,而且是代数量,因而电能也是时间 t 的函数,同样为代数量。

由功率的定义,元件吸收的功率为:

$$p = \frac{dw}{dt} = u(t)i(t) \quad (1.3.3)$$

在直流情况下,式(1.3.3)可写为:

$$P = UI \quad (1.3.4)$$

在式(1.3.3)中,若电流的单位为安培(A),电压的单位为伏特(V),则功率的单位为瓦特(W),简称瓦。

在电压和电流为关联参考方向时,由式(1.3.3)所得到的功率 P 是元件吸收的功率。当实际计算的结果是 $P > 0$ 时,表明元件确实吸收功率, $P < 0$ 时,表明元件实际上是发出功率。反之,当电压和电流的参考方向是非关联参考方向时,由式(1.3.3)所得到的功率 P 是元件发出(释放)的功率。当实际计算结果是 $P > 0$ 时,表明元件确实发出功率, $P < 0$ 时,表明元件实际上是吸收功率。

【例 1.3.1】(1)如图 1.3.2(a)所示,元件两端电压为 10V, a 点电位低于 b 点,电流的方向如图所示,大小为 2A,计算元件吸收的功率。(2)如图 1.3.2(b)所示,元件两端的电压为 8V,元件发出的功率为 8W,求通过元件的电流。

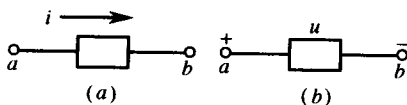


图 1.3.2 例 1.3.1 图

【解】(1)首先确定电压的参考方向,由于 a 点电位低于 b 点,因而 a 为负(-)极, b 为正(+)极,所以元件的电压与电流为非关联参考方向。

$$p = u \cdot i = 2 \times 10 = 20W$$

利用此式得出元件发出的功率为 20W,所以元件吸收的功率为 -20W。

(2) 设 u 、 i 为关联参考方向,即电流方向从 a 指向 b

$$P = ui$$

利用此式得到元件吸收的功率,由已知元件发出的功率是 8W,所以元件吸收的功率为 -8W,代入上式:

$$-8 = u \cdot i = 8i$$

$$i = -1A$$

得到通过元件的电流为 -1A,方向由 a 指向 b 。

在电路中电源提供电能,而负载吸收电能,这种能量转换关系同样满足能量守恒定律。即在某一段时间内电路中的一些元件的能量有所增加,而另一些元件的能量势必有所减少。由于功率是单位时间内元件吸收或发出的能量,因此同样存在功率平衡关系,即电路中所有元件吸收的功率的代数和为 0,功率平衡方程式如下:

$$\sum P = 0 \quad (1.3.5)$$

【例 1.3.2】在图 1.3.3 中, $U_{S_1} = 5V$, $U_{S_2} = 20V$, 电阻 $R = 5\Omega$, 验证电路是否满足功率平衡。

【解】选取电流的参考方向并标于图中, 电路中电流为:

$$I = \frac{U_{S_2} - U_{S_1}}{R} = \frac{20 - 5}{5} = 3A$$

电流为正值, 说明电流的实际方向与参考方向一致。

计算各元件的功率如下:

电压 U_{S_2} 与电流 I 为非关联方向, 因而电源 U_{S_2} 吸收的功率:

$$P_{U_{S_2}} = -U_{S_2} \cdot I = -20 \times 3 = -60W$$

电压 U_{S_1} 与电流为关联参考方向, 因此电源 U_{S_1} 吸收的功率:

$$P_{U_{S_1}} = U_{S_1} \cdot I = 5 \times 3 = 15W$$

电阻 R 吸收的功率:

$$P_R = U_R I = (U_{S_2} - U_{S_1}) \cdot I = 15 \times 3 = 45W$$

通过计算表明, 电源 U_{S_2} 发出功率, 电源 U_{S_1} 和电阻 R 吸收功率, 即电源 U_{S_1} 是电路的电源, 而电源 U_{S_2} 和电阻 R 是电路的负载。

最后来验证一下电路是否满足功率平衡:

$$\sum P = P_{U_{S_2}} + P_{U_{S_1}} + P_R = -60 + 15 + 45 = 0W$$

满足 $\sum P = 0W$, 说明计算正确。

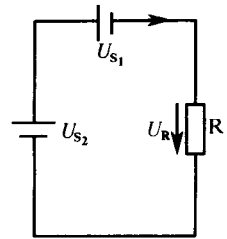


图 1.3.3 例 1.3.2 图

【练习与思考】

1.3.1 计算图 1.3.4 所示各元件吸收或发出的功率:

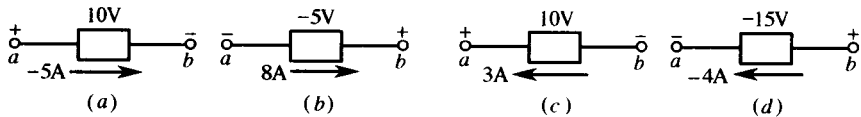


图 1.3.4 练习与思考 1.3.1 图

1.3.2 已知元件的电流参考方向如图 1.3.5 所示, $I = -4A$, 发出功率 $100W$, 计算 U_{ab} , 并判断 a 、 b 两点哪点电位高, 哪点电位低。

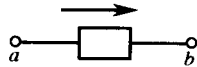


图 1.3.5 练习与思考 1.3.2 图

1.4 电阻元件

有些实际部件如电阻器、电灯、电炉在一定条件下可以用二端电阻元件作为其模型。电阻元件有线性电阻和非线性电阻之分, 这里我们只讨论线性电阻。

在电阻两端加上电压后,电阻中有电流流过,如图 1.4.1(a)所示,两者为关联参考方向,电阻上电压与电流的关系曲线称为电阻元件的伏安特性曲线,由于电压的单位为伏特(V),电流的单位为安培(A),因此又称为 V-A 特性曲线,如图 1.4.1(b)所示,如果一个电阻元件的伏安特性曲线是通过坐标原点的一条直线,则将该电阻称为线性电阻。

线性电阻元件的图形符号见图 1.4.1(a)

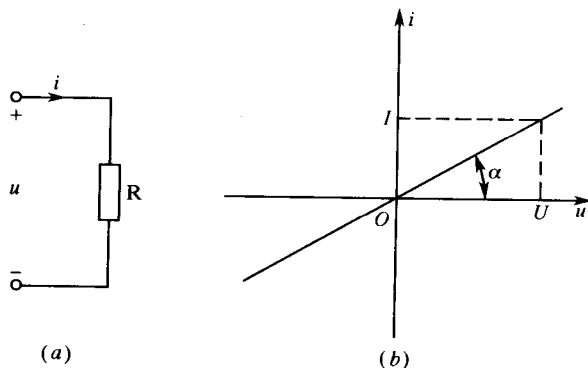


图 1.4.1 电阻的伏安特性
(a)线性电阻; (b)电阻的伏安特性曲线。

欧姆定律表明,通过电阻 R 的电流 I 与作用在电阻两端的电压 U 成正比,即:

$$I = \frac{U}{R} \quad (1.4.1)$$

式中, R 的单位为欧姆(Ω)。

令 $G = \frac{1}{R}$, 上式变成为:

$$I = GU \quad (1.4.2)$$

式(1.4.2)中, G 称为电阻元件的电导,电导的单位是西门子,简称西(S)。 R 和 G 都是电阻元件的参数,如果说电阻 R 反映一个电阻元件对电流的阻碍能力的大小,那么电导 G 就可以反映一个电阻元件导电能力的强弱。

在电压和电流的关联参考方向下,由功率的定义任意时刻线性电阻元件吸收的电功率为:

$$P = UI = RI^2 = GU^2 \quad (1.4.3)$$

因电阻 R 、电导 G 的值均为正实常数,因而功率 P 恒为非负值,说明电阻元件不可能发出功率,它所吸收的功率全部被消耗掉且转换成其它形式的能量,因此说电阻元件是耗能元件。

【例 1.4.1】已知阻值为 5Ω 的电阻两端加有 50V 的电压,计算流过电阻的电流 I ,并计算电阻吸收的功率。

【解】已知 $R = 5\Omega$, $U = 50\text{V}$

$$I = \frac{U}{R} = \frac{50}{5} = 10\text{A}$$

$$P = \frac{U^2}{R} = 500\text{W}$$

电阻元件中流过电流时,会因为消耗电能而发热,如果电流过大,发热会使温度过高导致元件有被烧坏的危险,为了保证元件安全可靠地工作,制造厂都给它们规定了在给定条件下正常运行的容许值,即电压、电流或功率的额定值。

电气设备的额定值通常标在产品的铭牌上。

在使用中,电压、电流及功率的实际值并不一定等于它们的额定值。

【例 1.4.2】一个额定值为 5W 、 100Ω 的电阻器,使用时最高能加多少伏的电压? 能允许通过多少安的电流?

【解】由公式 $P = I^2 R$ 可知,允许通过的最大电流为:

$$I = \sqrt{\frac{P}{R}} = \sqrt{\frac{0.05}{100}} = 0.225\text{A}$$

由公式 $P = \frac{U^2}{R}$ 可知,两端可加的最高电压为:

$$U = \sqrt{P \cdot R} = \sqrt{500} = 22.5\text{V}$$

【练习与思考】

1.4.1 计算图 1.4.2 所示电阻的阻值。

1.4.2 计算图 1.4.3 中流过电阻的电流 I , 其中 $R = 5\Omega$ 。

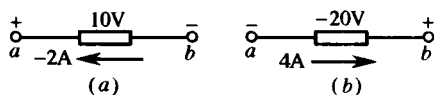


图 1.4.2 练习与思考 1.4.1 图

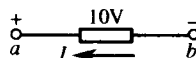


图 1.4.3 练习与思考 1.4.2 图

1.4.3 计算图 1.4.4 所示电路中 a 、 b 、 c 、 d 点的电位。

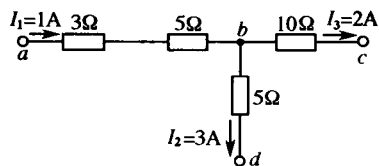


图 1.4.4 练习与思考 1.4.3 图

1.5 电压源和电流源

在电路中,电源的作用是将其它形式的能量(热能、光能、化学能等)转换成电能。实际电源的种类很多,有干电池、蓄电池、发电机等。电压源和电流源是从实际电源抽象得到的电路模型,表示了实际电源的伏安特性关系。

1.5.1 电压源

理想电压源是一个理想的二端元件,它有两个基本的特点:

(1) 无论接在它输出端的负载如何变化,它两端的输出电压是定值 U_S , 或者是一固定

的时间函数 $u_S(t)$ 。

(2) 电压源的电压是由它自身所决定,而流经它的电流则是任意的,是由与之相联接的外电路所确定。

电压源在电路中的符号如图 1.5.1 所示。

其中,图 1.5.1(a) 所示符号用来表示一般的电压源,正负号表示参考极性,图 1.5.1(b) 用于表示直流电压源,长划线表示电压源正极,短划线表示电压源的负极,电压的大小用 U_S 表示。

图 1.5.2 是电压源的伏安特性,(a) 表示电压源在 t_1 时刻的伏安特性,它是一条不通过原点且与电流轴平行的直线。当 $u_S(t)$ 随时间改变时,这条平行于电流轴的直线也将随着改变位置,图 1.5.2(b) 是直流电压源的伏安特性,它不随时间变动位置。

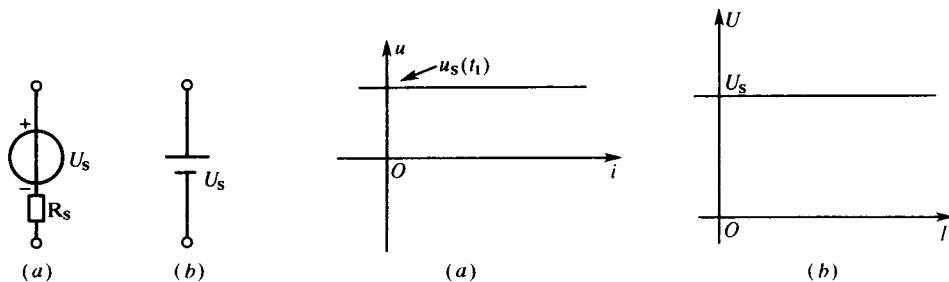


图 1.5.1 电压源

图 1.5.2 电压源的伏安特性

1.5.2 电流源

理想电流源是一个理想的二端元件,它有两个基本的特点:

(1) 无论接在它输出端的负载如何变化,其输出电流是定值 I_S 或者是一固定的时间函数 $i_S(t)$ 。

(2) 电流源的电流是由它自身所确定的,而加在它两端的电压则是任意的,是由与之相联接的外电路决定的。

电流源在电路中的符号如图 1.5.3 所示。

其中,图 1.5.3(a) 所示符号用于表示一般的电流源,当然也可以用于表示直流电流源,此时 $i_S(t) = I_S$,图 1.5.3(b) 表示直流电流源,箭头表示电流源电流的参考方向, I_S 表示电流值。

图 1.5.4 是电流源的伏安特性,图 1.5.4(a) 表示出电流源在 t_1 时刻的伏安特性,它是

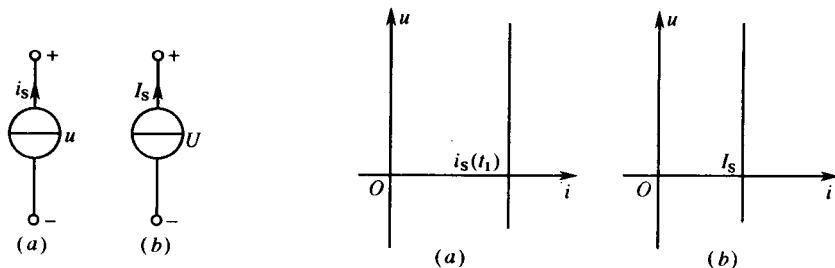


图 1.5.3 电流源

图 1.5.4 电流源的伏安特性