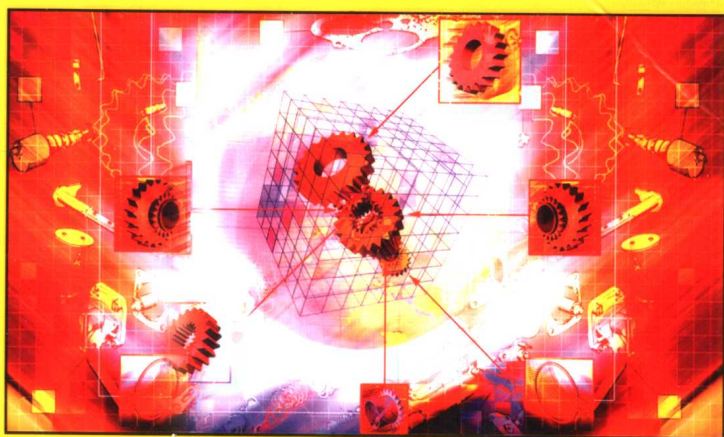


21世纪高等院校规划教材

电工与电子 技术基础

DIANGONG YU DIANZI JISHU JICHU



康巨珍 康晓明 编著



国防工业出版社

National Defense Industry Press

21 世纪高等院校规划教材

电工与电子技术基础

康巨珍 康晓明 编著

国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书是根据教育部 1995 年颁发的高等工业学校“电工技术(电工学 I)”和“电子技术(电工学 II)”两门课程的教学基本要求编写的。全书共分十章,即电路模型与电路定律,电阻电路分析,正弦交流电路,三相电路,一阶电路,磁路与铁芯线圈电路,半导体器件,基本放大电路,含运算放大器的电路,数字逻辑基础。

本书各章均有内容提要和学习要求,章末有小结和习题,书后附有各章习题参考答案。

本书可作为高等工业学校、高等职业教育院校,非电类专业本科生、函授生及自学考试读者的教材,也可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电工与电子技术基础/康巨珍,康晓明编著. —北京:国防工业出版社,2007.5

21 世纪高等院校规划教材

ISBN 978-7-118-05087-5

I 电… II. ①康…②康… III. ①电工技术—高等学校—教材②电子技术—高等学校—教材 IV. TM TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 038109 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)

新艺印刷厂

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 17½ 字数 406 千字

2007 年 5 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 29.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店: (010)68428422

发行邮购: (010)68414474

发行传真: (010)68411535

发行业务: (010)68472764

前 言

本书是根据教育部(前国家教育委员会)1995 年颁发的高等工业学校“电工技术(电工学Ⅰ)”和“电子技术(电工学Ⅱ)”两门课程的教学基本要求,采用国际上教材最新编写原则:知识结构、单元结构、题材结构的方法编写的。全书从应用角度出发,在保证基础理论、基本知识和基本技能的基础上,通过内容编排顺序和叙述方法,有意引导读者从实际问题入手,通过建立“电路模型”对其进行理论分析,重点突出分析问题的思路和培养能力的方法。

根据非电类专业对电工学共性内容的要求,全书精选内容,侧重应用,叙述简洁,概念准确,便于读者自学、理解和掌握。

本书第一章、第二章、第三章、第五章和第十章由康晓明编写,其余各章由康巨珍编写。其中成丹参加了第六章编写,张龙参加了第四章编写,许书云、王荣莉参加了第九章、第十章编写。葛文杰、王冠虎参加了绘图,鹿业勃、孙永霞、刘光辉、程昊参加了习题编写和验算。全书由康巨珍统稿。全部书稿经中国高等师范电子学会组织有关专家徐克服教授、黄庆元教授审阅。他们提出了许多宝贵意见和建议,在此深表谢意。

最后,特别感谢国防工业出版社刘炯编辑在本书出版中所给予的支持。

限于作者水平,加之时间仓促,书中缺漏和错误在所难免,诚望读者批评指正。

编 者
2007.1

目 录

第一章 电路模型与电路定律	1
1.1 电路组成与作用	1
1.2 电路模型与电路元件	1
1.3 电路基本物理量	3
1.4 电源的三种状态	8
1.5 基尔霍夫定律	11
小结	15
习题	15
第二章 电阻电路的分析方法	18
2.1 电阻电路等效变换	18
2.2 电压源与电流源及其等效变换	31
2.3 支路电流法	34
2.4 回路电流法	37
2.5 节点电位法	41
2.6 叠加原理	46
2.7 戴维南定理和诺顿定理	51
小结	64
习题	67
第三章 正弦交流电路	72
3.1 正弦交流电路基本概念及正弦量的三要素	72
3.2 正弦量的相量表示法	76
3.3 电阻中的正弦电流	80
3.4 电感中的正弦电流	82
3.5 电容中的正弦电流	85
3.6 RLC 串联电路 复阻抗	88
3.7 RLC 并联电路 复导纳	92
3.8 正弦交流电路的功率	94
3.9 功率因数的提高	100
3.10 非正弦周期电流和电压	101

3.11 正弦交流电路的频率特性	107
小结	117
习题	121
第四章 三相电路	124
4.1 三相电压	124
4.2 三相电源的连接	126
4.3 三相负载的连接	129
4.4 对称三相电路的计算	131
4.5 三相电路功率与测量	133
小结	139
习题	140
第五章 一阶电路	143
5.1 电路过渡过程概念	143
5.2 一阶电路的零输入响应	145
5.3 一阶电路的零状态响应	151
5.4 一阶电路的全响应	154
5.5 计算一阶电路的三要素法	156
5.6 微分电路与积分电路	160
小结	161
习题	162
第六章 磁路与铁芯线圈电路	165
6.1 磁路及其基本定律	165
6.2 交流铁芯线圈电路	171
6.3 变压器	173
6.4 三相异步电动机	176
小结	186
习题	187
第七章 半导体器件	189
7.1 半导体的基本知识与导电特性	189
7.2 半导体二极管	191
7.3 稳压管	192
7.4 晶体管	195
7.5 光电器件	200
小结	201
习题	202

第八章 基本放大电路	204
8.1 共发射极放大电路的组成	204
8.2 放大电路的静态分析	206
8.3 放大电路的动态分析	207
8.4 放大电路工作点的稳定	212
8.5 共集电极放大电路	215
8.6 功率放大电路	217
小结	218
习题	219
第九章 含运算放大器的电路	221
9.1 运算放大器	221
9.2 含理想运算放大器的电路分析	224
9.3 回转器	230
9.4 负阻抗变换器	233
小结	234
习题	235
第十章 数字逻辑基础	238
10.1 概述	238
10.2 逻辑代数及其基本运算	247
10.3 逻辑函数及其表示方法	249
10.4 逻辑代数的公式和运算规则	251
10.5 逻辑函数的公式化简法	253
10.6 逻辑函数的卡诺图化简法	255
10.7 具有无关项的逻辑函数及其化简方法	262
小结	263
习题	264
习题答案	267
参考文献	274

第一章 电路模型与电路定律

本章主要介绍电路模型与电路定律,电流参考方向,电压参考极性,独立源与受控源;并指出基尔霍夫定律是集总参数电路的基本定律。

学习本章要求:理解理想元件是由组成实际电路的元件(或部件)抽象来的;掌握电流参考方向、电压参考极性意义;掌握电源3种状态;理解电压源和电流源特点;熟练掌握基尔霍夫定律及其应用;了解电功率 $P>0$ 和电功率 $P<0$ 的意义。

1.1 电路组成与作用

电路就是电流通过的路径。例如在手电筒里,按照要求装入电池,合上开关后灯泡发光,关闭开关后灯泡熄灭,这个装有干电池的手电筒就是实际电路。其中干电池是向实际电路提供电能的一种供电设备,称为电源;电灯泡是把电能转换成其他形式能量的一种用电设备,称为负载;电筒皮和开关是连接电源和负载通过电流的设备,称为导线,如图1-1(a)所示。图1-1(b)所示为电路模型。

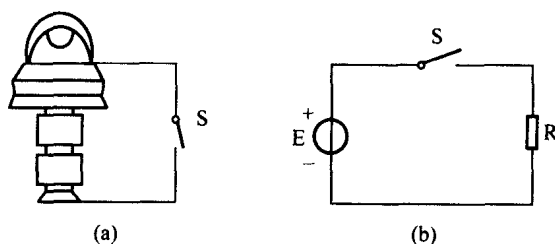


图 1-1

因此说,电路是由电源、负载和连接导线所组成。

实际电路的主要作用是:(1)转换能量,如电炉把电能转换成热能,电灯泡把电能转换成光能,电动机把电能转换成机械能,扬声器把电能转换成声能等;(2)传递和处理信号,如放大器把微弱信号放大,调谐电路从各种不同的信号源中选出需要的信号等。

实际电路根据其组成、性质和作用有各种不同的分类,但就实际电路是否满足线性关系,主要分为两类:一类是线性电路,它是由线性元件组成的,描述这类电路的数学方程为线性方程;另一类是非线性电路,组成这类电路的元件至少含有一个非线性元件,描述这类电路的数学方程为非线性方程。

1.2 电路模型与电路元件

在实际电路中,不论是线性电路还是非线性电路,只要组成实际电路的各元件(或部

件)其几何尺寸远远小于通过该元件(或部件)的电磁波的波长时,则把该元件(或部件)看做集总参数元件。由集总参数元件组成的电路称为集总参数电路。

在集总参数电路中,当电路工作时,只考虑通过该电路各元件(或部件)的主要电磁性能,忽略其次要电磁性能,如对电源只考虑它向实际电路提供电能的性能,忽略其消耗电能的性能,也就是说把电源内电阻当作零处理;对电灯泡只考虑它消耗电能的性能,忽略它储存电能的性能,也就是说把电灯泡只当做纯电阻处理;对电筒皮和开关只考虑它连接电源和负载构成电路通路性能,不考虑它消耗电能和储存电能的性能,也就是说把电筒皮和开关只当做纯导线处理。像这种只考虑实际元件(或部件)的主要电磁性能,而忽略其次要电磁性能的实际元件(或部件),称为理想元件。

由理想元件组成的电路,称为实际电路的电路模型,如图 1-1(a)所示的手电筒电路的电路模型为图 1-1(b)所示。通常把实际电路的电路模型称为电路,它是电路分析研究的对象。所谓电路分析,就是在给定电路结构及元件参数的条件下,讨论电路的激励(即电源或信号源的电压或电流)与响应(由于激励在电路各部分所产生的电压或电流)之间的关系。工厂、企业常用一些图形、符号来替代实际电器设备和元件,连接起来所组成的图称为电原理图。电原理图不是电路模型,构成它的电器设备、元件(或部件)不一定是理想元件。

虽然组成电路的元件(或部件)形形色色,种类繁多,但从元件(或部件)所反映的电磁现象来看不外乎以下几种:(1)消耗电能,例如电灯、电炉、电饭锅等,称为电阻元件,用符号“R”表示;(2)提供电能,例如干电池、蓄电池、发电机等,称为电源,用符号“J”表示;(3)储存电场能,例如各种电容器等,用符号“C”表示;(4)储存磁场能,例如各种线圈等,用符号“L”表示。电阻元件、电容元件、电感元件和电源元件等理想元件,称为电路元件。

R、L、C 称为电路 3 类基本元件,其根源要追溯到电路的基本变量。众所周知,构成电路的基本变量有电压 $u(t)$ 、电流 $i(t)$ 、电荷 $q(t)$ 、磁通链 $\Psi(t)$ 。在这 4 个变量中, $u(t)$ 与 $\Psi(t)$ 、 $i(t)$ 与 $q(t)$ 分别遵循如下变化规律,即

$$\begin{cases} u(t) = \frac{d\Psi(t)}{dt} \\ i(t) = \frac{dq(t)}{dt} \end{cases} \quad (1-1)$$

式(1-1)表明, $u(t)$ 与 $\Psi(t)$ 、 $i(t)$ 与 $q(t)$ 这 4 个变量并不都是独立的。换句话说讲, $u(t)$ 与 $\Psi(t)$ 、 $i(t)$ 与 $q(t)$ 两两分别为动态相关量。

若将以上 4 个变量中每两个进行组合,构成变量偶,则 4 个变量有 6 种可能的组合形式,如图 1-2 所示。

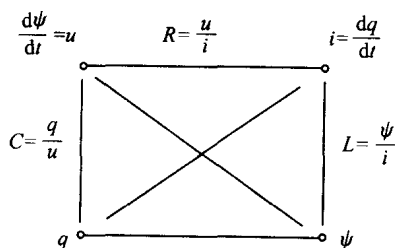


图 1-2

在这6种可能的组合形式中,由于变量偶 (u, Ψ) 和 (i, q) 动态相关,所以只有 (u, i) 、 (i, Ψ) 、 (u, q) 、 (Ψ, q) 为动态无关。这4个变量偶的前3个,分别表征了大家熟知的3类基本元件,即电阻元件R、电感元件L、电容元件C的特性。根据完全类似的理由,图1-2中 q 与 Ψ 也应代表一个确定的元件,这就是第4类电路基本元件,称做记忆电阻器,用符号“m”表示。这类元件的性质虽然还没有完全认识,但可以断言它是存在的。

1.3 电路基本物理量

1. 电流及其参考方向的指定

电流就是自由电荷在电场力的作用下,按照一定秩序定向移动而形成的。衡量电流强弱的物理量称为电流强度,简称电流,电流在数值上等于单位时间内通过导体横截面的电荷量。例如,设在极短的时间 dt 内,通过导体横截面 S 的微量电荷量为 dq ,则该导体的电流为

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1-2)$$

式(1-2)所表示的电流是随着时间的变化而变化,称为变动电流,常用小写字母 i 表示。如果电流大小和方向都不随时间变化,这种电流称为恒定电流,简称直流。直流电流常用大写字母 I 表示,即

$$I = \frac{q}{t} \quad (1-3)$$

式中: q 为通过导体横截面 S 的电荷量,在国际(SI)单位制中,其主单位为库仑,记作库(C); t 为电荷通过导体横截面 S 的时间,单位为秒(s); I 为电流强度,在国际(SI)单位制中,电流的主单位为安培,记作安(A)。比安培大的单位有千安,比安培小的单位有毫安、微安,其换算关系为

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

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

$$1 \text{ 微安}(\mu\text{A}) = 10^{-6} \text{ 安培(A)}$$

当电流作为信号通过电路时,欲求输入信号和输出信号之间的关系,首先应确定电路中信号的变动方向。习惯上常规定正电荷移动的方向为电流的实际方向。电流的实际方向是客观存在的。但是实际电路中,正电荷的移动方向往往事先是判断不出来的,而分析计算电路又必须事先知道电流方向,因此,引入电流的参考方向概念。

电流的参考方向通常是任意指定。并用实线箭头表示,如图1-3(a)所示。电流的参考方向也可以用双下标表示,如电流从支路A端流向B端,可记为 i_{AB} 。电流的参考方

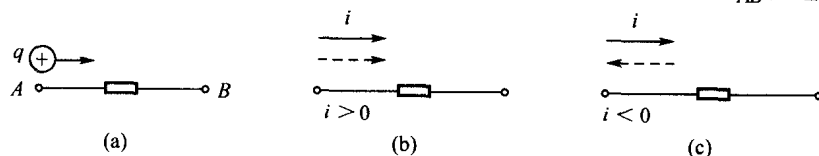


图 1-3

向一旦指定后,就不允许中间再变动。

根据电流的参考方向算出电流 i 值后,若 i 值大于零($i > 0$),说明电流的参考方向与其实方向(用虚线箭头表示)一致(即参考方向就是电流的实际方向);若 i 值小于零($i < 0$),说明电流的参考方向与其实方向相反(即参考方向的反方向为电流的实际方向)。由此可见,电流的正负值正是由于电流的参考方向与其实方向的相同与不同而造成的,不规定电流的参考方向,电流的正负值也就没有意义了。若用实线箭头表示电流的参考方向,虚线箭头表示电流的实际方向,则电流的正负值,同电流的参考方向及电流的实际方向的关系,如图 1-3(b)、(c)所示。

2. 电压、电位、电动势及其参考极性(方向)的指定

由物理学知,单位正电荷在电场力的作用下从 A 点移动到 B 点,电场力所做的功称为电压,习惯上常把电压从高电位端指向低电位端的方向称为电压的实际极性(方向)。设电场力将正电荷 Q 从 A 点移动到 B 点所做的功记为 W_{AB} ,则电压为

$$U_{AB} = \frac{W_{AB}}{Q} \quad (1-4)$$

式中: W_{AB} 为电场力所做的功,在国际(SI)单位制中,其主单位为焦耳,记作焦(J); U_{AB} 为 A 、 B 两点间的电压,在国际(SI)单位制中,其主单位为伏特,记作伏(V)。1 伏特表示电场力把 1 库仑的电荷从 A 点移动到 B 点电场力所做的功是 1 焦耳。比伏特大的单位有千伏,比伏特小的单位有毫伏、微伏,其换算关系为

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

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

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

若取电路中某点 O 为参考点(即 $\varphi_O = 0\text{V}$),单位正电荷 q 在电场力作用下由 A 点移动到参考点 O 的电压称为电位,用字母 φ 表示,即

$$\varphi_A = U_{AO} = \frac{W_{AO}}{Q} = \varphi_A - \varphi_O \quad (1-5)$$

从而得,电路中任意两点间的电压,等于该两点之间的电位差。电位的单位和电压的单位一样。

值得指出:电位的数值与参考点的选择有关,而两点之间的电压值与参考点的选择无关。如图 1-4(a)所示电路,若取 C 点为参考点,即 $\varphi_C = 0\text{V}$,测得 $\varphi_A = 10\text{V}$, $\varphi_B = 6\text{V}$ 。由电压定义得

$$U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B = 10 - 6 = 4\text{V}$$

$$U_{AC} = \varphi_A - \varphi_C = 10 - 0 = 10\text{V}$$

$$U_{BC} = \varphi_B - \varphi_C = 6 - 0 = 6\text{V}$$

若取 B 点为参考点,即 $\varphi_B = 0\text{V}$,测得 $\varphi_A = 4\text{V}$, $\varphi_C = -6\text{V}$ 。由电压定义得

$$U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B = 4 - 0 = 4\text{V}$$

$$U_{AC} = \varphi_A - \varphi_C = 4 - (-6) = 10\text{V}$$

$$U_{BC} = \varphi_B - \varphi_C = 0 - (-6) = 6\text{V}$$

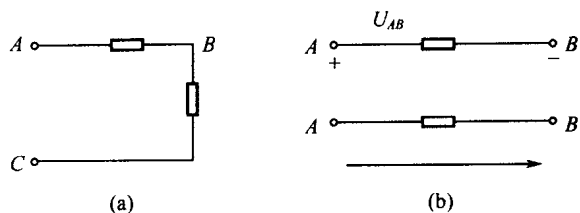


图 1-4

在电源内部,电源力把单位正电荷从低电位端移到高电位端所做的功称为电动势,用字母 e 或 E 表示。电动势的单位和电压单位一样,电动势的实际极性(或方向)是从电源的负极(低电位端)指向正极(高电位端)。

电压的参考极性(或方向)也是任意指定的。其标法从高电位端指向低电位端可用双下标表示,如 U_{AB} 或用“+”、“-”号表示,也可用实线箭头表示(箭头方向从高电位端指向低电位端),如图 1-4(b)所示。

对于任意一段电路,任意指定该电路电压的参考极性(方向)后计算出的电压值(如 U_{AB}),若 $U_{AB} > 0$,说明该电路电压的参考极性(方向)和实际极性(方向,如虚线箭头所示)一致,如图 1-5(a)所示;若 $U_{AB} < 0$,说明该电路电压的参考极性(方向)和实际极性(方向)相反,如图 1-5(b)所示。

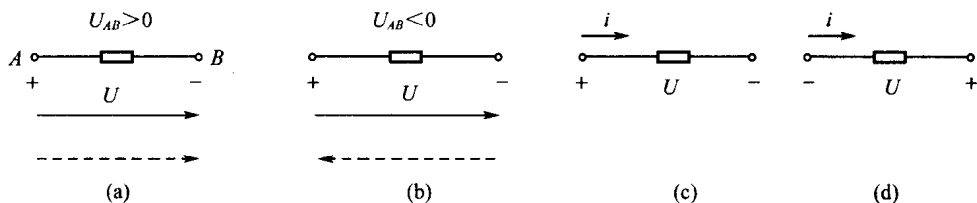


图 1-5

对于任意一段电路(或一个元件),其上电压的参考极性(方向)与电流的参考方向可以分别独立地任意指定,若指定电流从该段电路(或元件)的电压正极流入,并从其负极流出,即该段电路(或元件)的电压参考极性(方向)与其电流参考方向一致,这种参考方向,称为关联参考方向,如图 1-5(c)所示;否则为非关联参考方向,如图 1-5(d)所示。

[例 1-1] 已知图 1-6 所示电路中, $U_{BC} = 20\text{V}$, $\varphi_A = 60\text{V}$, $U_{CD} = 10\text{V}$ 。试求 φ_D 、 φ_E 和 U_{AB} 的值。若通过 AB 支路电流为 I_{BA} ,试说明该支路电压和电流是否为关联参考方向?

解:由图 1-6 知 $\varphi_C = 0\text{V}$, $U_{CD} = \varphi_C - \varphi_D = 10\text{V}$, 所以有

$$\varphi_D = \varphi_C - 10 = 0 - 10 = -10\text{V}$$

又因为 E 点断开, R_4 上无电流通过,所以

$$\varphi_E = \varphi_D = -10\text{V}$$

由 $U_{BC} = \varphi_B - \varphi_C$ 得

$$\varphi_B = U_{BC} + \varphi_C = 20\text{V}$$

所以

$$U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B = 60 - 20 = 40\text{V}$$

因为 $U_{AB} = 40\text{V}$, 电压参考极性是从 A 指向 B , 而电流 I_{BA} 其参考方向是从 B 指向 A , 所以该支路电压和电流为非关联参考方向。

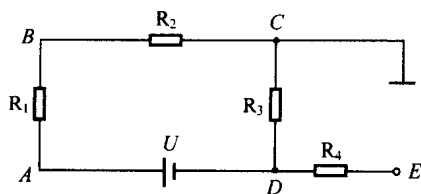


图 1-6

3. 电功率

当电流载着信号通过电路时, 伴随着传递和转换电能。电能传递和转换的速率称为电功率。若用 P 表示电功率, 则电功率和电能的关系为

$$P = \frac{dW}{dt}$$

由电压定义

$$u = \frac{dW}{dq}$$

所以电功率为

$$P = \frac{u dq}{dt} = ui \quad (1-6)$$

式中: dW 为电路在极短的时间 dt 内传递和转换的电能量(电功), 在国际(SI)单位制中, 电能(电功)的主单位为焦耳, 记作焦(J); P 为电功率, 在国际(SI)单位制中, 功率的主单位为瓦特, 记作瓦(W)。比瓦特大的单位有千瓦、兆瓦, 比瓦特小的单位有毫瓦, 其换算关系为

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

$$1 \text{ 兆瓦(MW)} = 10^6 \text{ 瓦(W)}$$

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

电能的单位, 实际上常用千瓦小时($\text{kW} \cdot \text{h}$), 又称度, 它表示功率为 1kW 的用电设备在 1h 内所用的电能。

【例 1-2】 已知某实验室有 220V 、 40W 白炽灯 10 盏, 220V 、 2000W 电炉两个, 同时接在 220V 电源上。试求: (1) 每个用电器上的电流; (2) 总功率; (3) 在 2h 内所用总电能是多少度。

解: (1) 设每盏白炽灯电流为 I_A 安, 功率为 P_A 瓦, 由公式知

$$I_A = \frac{P_A}{U} = \frac{40}{220} = 0.18\text{A}$$

设每个电炉电流为 I_B 安, 功率为 P_B 瓦, 由公式得

$$I_B = \frac{P_B}{U} = \frac{2000}{220} = 9.1\text{A}$$

(2) 设总功率为 P 瓦, 则

$$P = P_A + P_B = 40 \times 10 + 2000 \times 2 = 4400\text{W}$$

(3) 设总用电能量为 A 度, 则

$$A = P \cdot t = 4400 \times 2 = 8800 \text{ W} \cdot \text{h} = 8.8 \text{ 度}$$

[例 1-3] 已知图 1-7(a) 所示电路中, $I=2\text{A}$, $U=5\text{V}$, 参考方向如图所示, 试求该电路的功率, 并判别该功率是吸收还是发出。

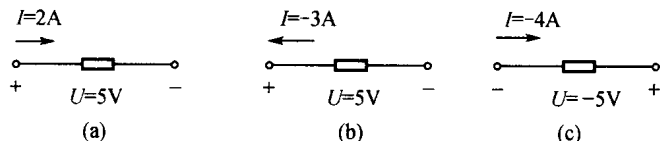


图 1-7

解: 由图 1-7(a) 所示电路知, 其电压与电流为关联参考方向, 所以

$$P = UI = 5 \times 2 = 10 \text{ W} > 0$$

因为 $P = 10 \text{ W} > 0$, 所以该电路吸收功率。

由图 1-7(b) 所示电路知, 其电压与电流为非关联参考方向, 所以

$$P = -UI = -5 \times (-3) = 15 \text{ W}$$

因为 $P = 15 \text{ W} > 0$, 所以该电路吸收功率。

由图 1-7(c) 所示电路知, 其电压与电流为非关联参考方向, 所以

$$P = -UI = -(-5) \times (-4) = -20 \text{ W}$$

因为 $P = -20 \text{ W} < 0$, 所以该电路发出功率。

根据式(1-6)分析一台发电机, 若要发电机发出大的功率, 除了要有大的电流外, 还必须有高的电压。但在实际生产中, 任何发电机输出的电压和电流都有一定限制, 因而功率也有一定限制。其实任何电气设备的电压、电流及功率都有一定限制, 这个限制就是额定值。它是制造厂家为了使产品能在给定的工作条件下正常运行而规定的正常容许值。大多数电气设备的寿命与绝缘材料的耐热性能及绝缘强度有关。当通过某电气设备的电流超过其额定值过多时, 该产品就会因过热而造成绝缘材料损坏; 当外施于该电气设备的电压超过其额定值过多时, 该设备就会因过压造成其绝缘材料被击穿, 因而影响了使用寿命。由于功率、电压和电流之间有一定的关系, 所以在给定值时, 没有必要全部给出。例如电灯、电炉等电气设备(元件)通常只给出额定电压和额定功率, 固定电阻除给出阻值外, 只给出额定功率等。

关于电流、电压和功率的国际(SI)单位制的主单位, 在实际应用时, 有时嫌大, 有时又嫌小, 不大方便, 因此常在这些单位前面加上词头形成辅助单位, 如表 1-1 所列。

表 1-1

词头	10^{-12}	10^{-9}	10^{-6}	10^{-3}	10^3	10^6	10^9	10^{12}
符号	p	n	μ	m	k	M	G	T
读法	皮(可) pico	纳(诺) nano	微 micro	毫 milli	千 kilo	兆 mega	吉(咖) giga	太(拉) tera

[例 1-4] 已知某碳膜电阻的阻值为 100Ω , 功率为 $4W$ 。试求该碳膜电阻用于直流电路中其电压和电流最大允许值是多少?

解: 由功率表达式得

$$P = \frac{U^2}{R}$$

所以

$$U = \sqrt{PR} = \sqrt{4 \times 100} = 20V$$

$$I = \frac{U}{R} = \frac{20}{100} = 0.2A$$

1.4 电源的三种状态

电源分为独立源和受控源。

独立源,是指能独立地向外界提供电能和信号,并产生相应响应的电源,如发电机、蓄电池、干电池等。独立源又分为独立电压源(简称电压源)和独立电流源(简称电流源),其图形符号分别为图 1-8(a)和图 1-8(b)所示。

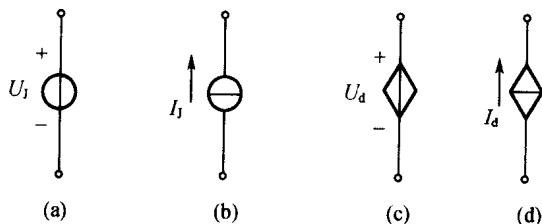


图 1-8

独立电压源,是指把实际电源的内电阻看做零值的一种理想电压源。它的主要特点是:(1)电压源的内部没有能量损耗;(2)电压源的端电压与通过它的电流无关,是个常数或确定的时间函数,在数值上恒等于电压源的电动势;(3)通过电压源的电流随外界所连接的负载的不同而不同。

独立电流源,是指把实际电源的内电导(内电阻的倒数)看做零值的一种理想电流源。它的主要特点是:(1)电流源内部没有能量损耗;(2)电流源输出的电流与它的端电压无关,是一常数或确定的时间函数,在数值上恒等于电流源的电流值;(3)电流源的端电压随外界所连接的负载的不同而不同。

受控源,是指不能独立地向外界提供电能和信号,而且它的电压或电流随着所连接的外界电路的电压或电流的变化而变化。受控源又分为受控电压源和受控电流源,其图形符号分别为图 1-8(c)和图 1-8(d)所示。

如果受控源的受控量(电压或电流)与它的控制量(电压或电流)成正比时,这种受控源称为线性受控源。线性受控源有 4 种类型:

(1)电压控制电压源(VCVS),其图形符号如图 1-9(a)所示。其中 $\mu = \frac{U_2}{U_1}$ 称为电压比。该受控源的特点是输入电流为零值,即输入电阻无穷大,相当于输入端口内部开路,

例如电子管放大器。

(2)电压控制电流源(VCCS),其图形符号如图 1-9(b)所示。其中 $g_m = \frac{I_2}{U_1}$ 称为转移电导。该受控源的特点是输入电流为零值,即输入电阻无穷大,相当于输入端口内部开路,例如场效应管电路。

(3)电流控制电压源(CCVS),其图形符号如图 1-9(c)所示。其中 $r_m = \frac{U_2}{I_1}$ 称为转移电阻。该受控源的特点是输入电压为零值,即输入电阻为零,相当于输入端口内部短路,例如控制用的直流电动机。

(4)电流控制电流源(CCCS),其图形符号如图 1-9(d)所示。其中 $\beta = \frac{I_2}{I_1}$ 称为电流比。该受控源的特点是输入电压为零值,即输入电阻为零,相当于输入端口内部短路,例如晶体管电路。

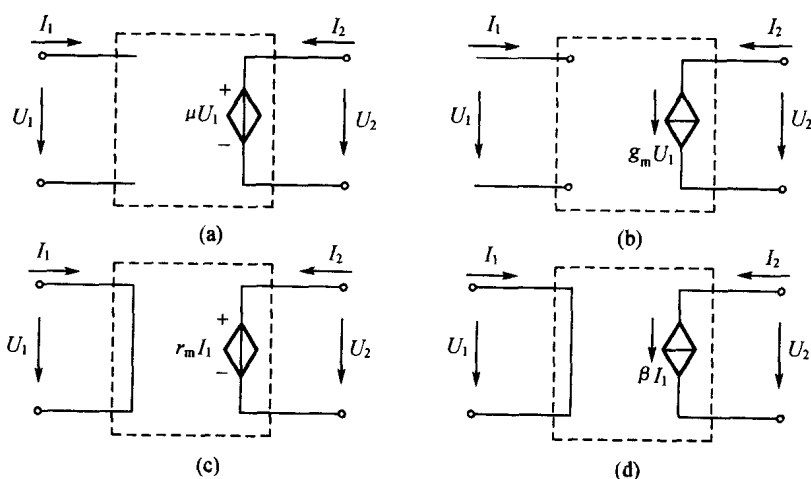


图 1-9

(a) VCVS; (b) VCCS; (c) CCVS (d) CCCS。

1. 电源有载工作状态

实际电源的内电阻总是不等于零的,因此它的内部总是有能量损耗的。通常将实际电源用一个电动势为 $e(t)$ 的理想电压源和一个阻值等于实际电源内电阻的定常电阻 R_i 相串联的模型来表示,如图 1-10(a)所示。其中 $e(t)$ 为实际电源的电动势,正、负号表示电压源电压的参考极性。如果实际电源的电动势为常数,即 $e(t) = E$,这种电源为直流电源。直流电源的模型也可以用图 1-10(b)所示电路来表示。图中长线段表示电压源的高电位端(正极),短线段表示电压源的低电位端(负极)。当实际电源与其外电路(即负载 R_L)相连接时,如图 1-10(c)所示,这就是电源的有载工作状态,电路中的电流为

$$I = \frac{E}{R_i + R_L} \quad (1-7)$$

由于实际电源的电动势 $e(t)$ 为确定的时间函数(或固定常数), 内阻 R_i 是定常数, 由式(1-7)得负载电阻 R_L 愈小, 则流过电源的电流愈大。且由图 1-10(c) 知负载电阻 R_L 的端电压为

$$U = R_L I$$

将上式代入式(1-7)中, 则得

$$U = E - R_i I \quad (1-8)$$

式(1-8)指出, 当电源向负载提供电流时, 电源的端电压 U 总是低于它的电动势 E 的, 所低之值就是电源内电阻 R_i 上的电压降 $R_i I$ 。电流愈大电源的端电压下降得愈多。表示电源端电压 U 与输出电流 I 之间的关系曲线, 称为电源外特性曲线, 如图 1-10(d) 所示, 其斜率与电源内电阻有关。电源内电阻一般很小。当 $R_i \ll R_L$ 时, 则 $U \approx E$ 。即当电流变动时, 电源的端电压变动不大, 说明它带负载能力强。

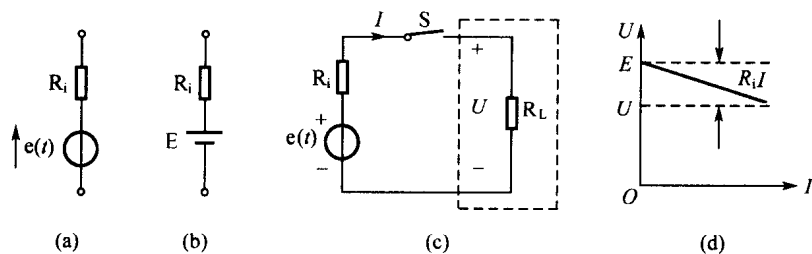


图 1-10

2. 电源开路状态

当图 1-10(c) 所示电路的开关 S 断开时, 即电源与其外电路(负载)不连接时, 如图 1-11(a) 所示。这时电源处于开路(或空载)状态。处于开路状态的电源, 其外电路的电阻对电源来说等于无穷大, 因此, 电路中电流为零。这时电源的端电压(称为开路电压或空载电压 U_{OC})等于电源的电动势, 电源不输出电能, 也就是说开路状态的电源具有下列特点

$$\begin{cases} I = 0 \\ U = U_{OC} = E \\ P = 0 \end{cases} \quad (1-9)$$

3. 电源短路状态

当图 1-11(a) 所示电路, 由于某种原因 a 、 b 两点(电源两端)直接连在一起时, 如图 1-11(b) 所示。这时电源处于短路状态。短路状态的电源其外电路的电阻等于零, 电流直接通过 a 、 b 导线构成回路, 不再流过负载 R_L , 负载 R_L 两端的电压(即电源的端电压)等于零。因为回路中的电阻只有电源很小的内电阻 R_i , 所以电路中的电流很大, 这个电流称为短路电流 I_{SC} 。由于电源短路时, 电源所发出的电能全部被其内电阻所吸收, 所以在电源内部产生大量的热造成电源损坏。电源短路时的特点是