

21

世纪中等职业教育系列教材

电工基础

主编：张万松



中国传媒大学出版社

内 容 简 介

根据教育部颁发的中等职业学校《电工基础教学大纲》并参照相关行业的职业技能鉴定规范及中级技术工人等级考核标准编写。第一到第五章主要讲述电工学基本概念和基本定律、电磁现象、直流电路、正弦交流电路、三相交流电路;第六到第十章讲述谐振电路、变压器、电动机、照明及安全用电、信号与系统。本书针对中等职业技术学校培养应用型技术人才的特点,从电工学的基础理论入手,逐步过渡到实际应用,力求语言简练,重点突出,通俗易懂。本书是适用于中等职业教育的教材,亦可作为从事电气类工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电工基础/张万松主编. —北京:中国传媒大学出版社,
2006.1

(21 世纪中等职业教育系列教材)

ISBN 7-81085-670-7

I. 电... II. 张... III. 电工学—专业学校—教材

IV. TM1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 157710 号

电工基础

主 编 张万松

策 划 王 进 蔡开松

责任编辑 欣 文

责任印制 曹 辉

出 版 人 蔡 翔

出版发行 中国传媒大学出版社 (原北京广播学院出版社)

北京市朝阳区定福庄东街 1 号 邮编 100024

电话: 010-65450532 65450528 传真: 010-65779405

<http://www.cucp.com.cn>

经 销 新华书店总店北京发行所

印 刷 北京市后沙峪印刷厂

开 本 787×1092mm 1/16

印 张 13.25

版 次 2006 年 1 月第 1 版 2006 年 1 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 7-81085-670-7/K·670 定 价: 17.00 元

前言

QIAN YAN

本教材是为了适应中等职业教育迅猛发展的需要,参照教育部颁布的中等职业学校电类专业通用《电工基础教学大纲》的要求而编写的。

本教材的任务是使学生具备电工、电子行业领域所必需的电工基本理论,并在此基础上,强化实际操作的技能,全面提高学生的综合能力。学习完本教材后,学生应具有能看懂电路图,能正确选择合适的电路元器件的能力。这将为后续课程的学习和培养学生的创新能力打下坚实的基础。

《电工基础》是机械、自动化、电子类等专业的一门重要的基础课,本书主要由十个章节构成:电工学的基本概念和基本定律、电磁现象、直流电路、正弦交流电路、三相交流电路、谐振电路、变压器、电动机、照明及安全用电、信号与系统。每章后配有简单的习题,用以巩固本章所学到的内容。

本书继承了以往经典教材的内容,打破了传统经典教材的固定模式,对内容进行了重新编排,编写中注重基础理论的同时,突出实际应用。书中语言精练,图文并茂,内容简洁,力图使读者学完本书后概念清楚,脉络清晰,重点明确,对这门课程从整体上有较好的把握。

限于编者的水平,书中难免存在一些错误和不足之处,恳请使用本书的读者给予批评指正。

编 者

2006 年 1 月

目录

MU LU

第一章 电工学的基本概念和基本定律

第一节 电路的概念和模型	(1)
第二节 电流及其参考方向	(2)
第三节 电压及其参考方向	(4)
第四节 电功率和电能	(5)
第五节 电阻元件和欧姆定律	(7)
第六节 电阻的连接方法	(10)
第七节 电源与电动势	(15)
第八节 基尔霍夫定律	(15)
第九节 电容器和电容	(18)
思考与练习	(23)

第二章 电磁现象

第一节 磁场及基本物理量	(29)
第二节 铁磁性物质的磁化与磁滞回线	(31)
第三节 磁路和磁路定律	(34)
第四节 简单直流磁路的计算	(36)
第五节 自感现象	(38)
第六节 互感电路	(41)
思考与练习	(51)

第三章 直流电路

第一节 电压源和电流源	(54)
第二节 两种实际电源模型的等效变换	(56)
第三节 支路电流法	(58)
第四节 网孔法	(60)

目录

M U L U

第五节 节点电压法	(62)
第六节 叠加定理	(65)
第七节 戴维南定理	(68)
第八节 含受控源电路的分析	(70)
思考与练习	(72)

第四章 正弦交流电路

第一节 正弦交流电基本概念	(79)
第二节 复数及其运算	(83)
第三节 正弦量的相量表示法	(88)
第四节 正弦交流电路	(91)
第五节 RCL 串联电路	(98)
第六节 RCL 并联电路	(101)
思考与练习	(102)

第五章 三相交流电路

第一节 三相电源	(107)
第二节 三相电源的连接	(110)
第三节 三相交流电负载的连接	(112)
第四节 三相电路的功率	(121)
思考与练习	(123)

第六章 谐振电路

第一节 串联谐振电路	(127)
第二节 并联谐振电路	(132)
第三节 谐振的应用	(136)
思考与练习	(138)

目录

第七章 变压器

- 第一节 变压器的分类 (139)
- 第二节 变压器的基本构造 (140)
- 第三节 变压器的工作原理 (141)
- 第四节 变压器的作用 (144)
- 第五节 变压器的外特性及技术参数 (146)
- 第六节 几种常用的变压器 (148)

第八章 电动机

- 第一节 交流电动机 (151)
- 第二节 直流电动机 (157)
- 思考与练习 (168)

第九章 照明及安全用电

- 第一节 照明基本知识 (169)
- 第二节 安全用电 (174)
- 思考与练习 (179)

第十章 信号与系统

- 第一节 信号的基本知识 (180)
- 第二节 信息传输概述 (183)
- 第三节 系统的基本知识 (190)
- 第四节 卫星通信 (195)
- 第五节 光纤通信 (197)
- 思考与练习 (199)

- 参考答案 (200)

第一章

电工学的基本概念和基本定律



学习提示

当今社会,科技发展日新月异,能源已成为发展的基本前提和推动力量。其中电能由于具有易于转换、输送和控制等特点得到了极其广泛的应用。无论其作为能源还是信号的载体,电能的地位都是其他形式的能所无法替代的。

电能的应用离不开电路,本章主要介绍电工学基本概念及定律,为以后各章学习打下坚实的基础。

本章的基本要求是:

1. 掌握电压、电流、电位、电源、电功率、电阻和电容等基本电路概念;
2. 掌握电路的欧姆定律;
3. 掌握电阻的连接方法,串联、并联及混联电路的计算与化简;
4. 会应用基尔霍夫定律进行电路的分析计算;
5. 了解电容器的充放电过程。



学习内容

第一节 电路的概念和模型

一、电路的概念

电流流通的渠道称为电路,它由若干个元器件或用电设备按一定形式连接而成。复杂的电路呈网状结构,又称之为网络。电路和网络这两个术语实际上是等价的。

电路的作用有两个:其一是实现电能的传输和转换,其二是实现信号的传输和处理。电路中提供电能或信号的元器件称为电源。电路中吸收电能或输出信号的元器件称为负载。在电源和负载之间引导和控制电流的导线和开关等都是传输控制器件,如图 1-1 所示的简单电路系统。

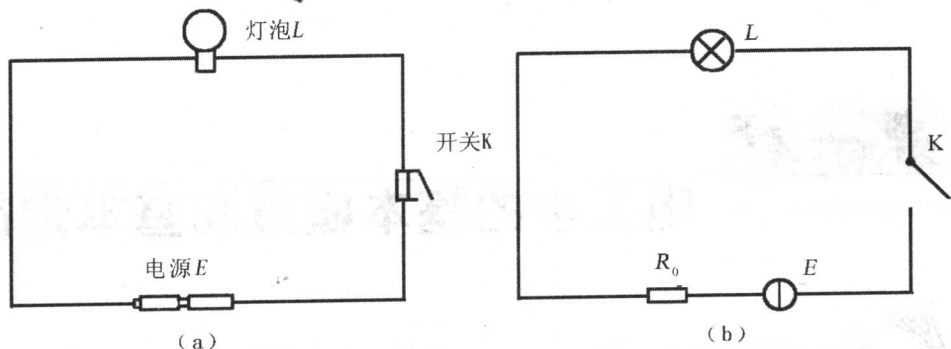


图 1-1 电路的组成

二、电路元器件

为方便起见,在分析电路时,一定条件下对实际器件的一些特性加以理想化。只考虑其中起主要作用的某些电磁现象,而忽略其他次要的电磁现象,这样的元器件称为理想电路元件。

理想电路元器件是一种理想化的模型,简称为电路元件。其中,电阻元件是一种表示只消耗电能的元件;电容元件是一种表示其周围空间存在着电场并且可以储存电场能量的元件;电感元件是一种表示其周围空间存在着磁场并且可以储存磁场能量的元件等。

三、电路模型

若干个理想电路元件经过电阻、电容和电感都为零的理想导线连接起来所构成的系统便称为电路模型。

第二节 电流及其参考方向

电流是由于带电粒子(电子、离子等)在外力作用下沿一定方向运动而形成的。用符号 i 表示。电流的产生需要具备两个基本条件:第一,要有可以沿一定方向运动的电荷;第二,要有使电荷作定向移动的外力,即电场力。在金属导体中,电流是由大量的带负电荷的自由电子在电场力作用下作定向运动而形成。在电解液中,电流是由正离子或负离子在电场力的作用下定向运动而形成的。电流是表征电荷运动特性的物理量,它不但可以表示电荷定向运动的现象,还可以用来衡量带电粒子定向运动的强弱。通常意义上把电流定义为单位时间内通过导体横截面的电量,即

$$i = \frac{q}{t}$$

上式中:

q 为通过导体横截面的电荷量;

t 为通过电量 q 所需的时间。

一般情况下,我们规定电流的实际方向为正电荷的运动方向,则金属导体中电流的方向与自由电子的运动方向相反,在电解液中电流的方向与负离子的移动方向相反,与正离子的移动方向相同。当电流的方向不随时间变化时该电流称为直流电流。直流电流常用英文大写字母 I 表示。如图 1-2 所示。

电流按变化快慢可以分为两类:直流电流和交流电流。

直流电流又可分为两类:稳恒电流和脉动电流。大小和方向都不随时间变化的直流电流称为稳恒电流,大小随时间变化的直流电流称为脉动电流。

大小和方向都随着时间周期性变化的电流称为交流电流,常用英文小写字母 i 表示。如图 1-2 所示。

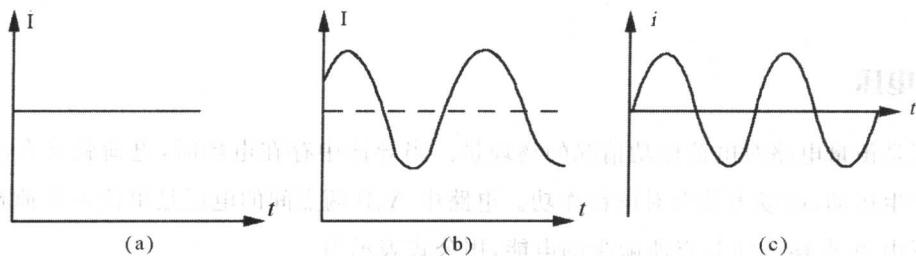


图 1-2 直流电流和交流电流

电流的单位符号为 A(安培)。国际单位制中常用电流符号还有的有千安(KA)、毫安(mA)和微安(μ A)等。它们之间的换算关系如下:

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

由于电路中电流的真实方向在电路分析与计算时很难事先判断,因此引入参考电流方向这一概念。为了分析计算方便,常常假定一个电流方向,称之为参考电流方向,并在电路中标明参考电流方向,用参考电流方向来反映电路中电流的方向。如果电流的计算结果为正值,表明参考电流方向与真实电流方向相同,如果计算结果为负值,表明参考电流方向与真实电流方向相反。注意一点,在没有假设参考电流方向之前,电流的正负是没有意义的,电流的方向是相对于参考电流方向来说的,如图 1-3 所示。

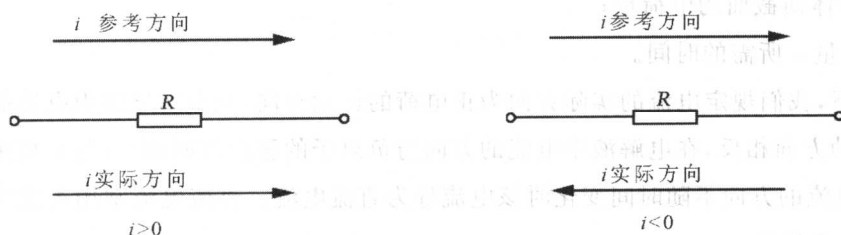


图 1-3 电流的参考方向

第三节 电压及其参考方向

一、电压

电压是衡量电路对电荷做功情况的物理量。当导体中存在电场时,电荷就会在电场力的作用下产生运动,电场力就会对电荷做功。电路中 A、B 两点间的电压是单位正电荷在电场力的作用下由 A 点移动到 B 点所减少的电能,用公式表示为

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

式中 q 为由 A 点移动到 B 点的电荷量, W_{AB} 为移动过程中电荷所减少的电能。

电压不仅有大小,而且还有方向。我们规定,电压的实际方向是电场力对正电荷做功的方向,电压用双下标表示,其中前一个下标代表电荷运动的起点,而后一个下标代表电荷运动的终点。

电压的单位符号为 V(伏特)。国际单位制中常用的有千伏(KV)、毫伏(mV)和微伏(μV)等。

和电流一样,在电路分析中,两点间电压也要规定参考方向,由参考方向和电压值的正负来反映电压的实际方向。若电压的计算结果为正,则电压的实际方向与参考方向一致,否则相反。电压的参考方向可以用正(+)、负(-)极性来表示,称为参考极性,也可以用箭头方向来表示。量值和方向都不随时间变化的直流电压用大写字母 U 表示。交流电压用小写字母 u 表示。

电路元件的电压参考方向与电流参考方向是一致的,称为关联参考方向,如图书 1-4 所示。

注意:在以后的电路分析中,一般应首先在电路中标定电流与电压的参考方向,再根据参考方向写出相关的电路方程。计算结果的正负与参考方向便可表示出电路中实际电流电压的方向,不

需要再在图中标出实际方向。同时在实际的分析中应尽可能选用关联参考方向,如图 1-5 所示。

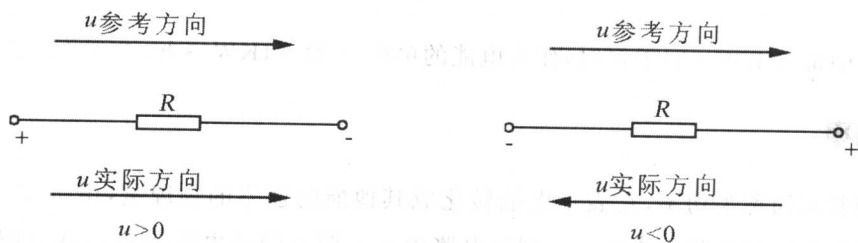


图 1-4 电压的参考方向

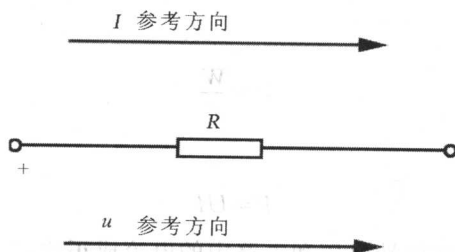


图 1-5 电流和电压的关联参考方向

二、电位

在电路中任选一点作为参考点,则电路中另一点的电位定义为由该点到参考点的电压,就称为该点的电位:

$$V_a = U_{ao} \quad (1-2)$$

电路中其余各点的电位都是相对于参考点而言的,通常选取多个元件的汇集处为参考点,并且常常假定参考点的电位为 0,通常用接地符“ $\perp$ ”来表示。

电位的单位也是伏特(V)。

如果已知 a 、 b 两点的电位各为 V_a 、 V_b ,则此两点间的电压为:

$$U_{ab} = V_a - V_b \quad (1-3)$$

即两点间的电压等于这两点的电位的差。

第四节 电功率和电能

一、电能

如图 1-1 所示电路,灯泡两端电压为 U ,当开关 K 闭合时,灯泡 L 场力所做的功,即电路消耗的电能: $W = qU$,因为 $q = It$,所以有 $W = UI t$ 。

上式表明电流在某段时间内所做的功与该段电路两端的电压、电路中的电流以及作用时间成正比。

实际应用中常以 $\text{KW} \cdot \text{h}$ (千瓦时) 作为电能的单位: $1 \text{度} = 1 \text{KW} \cdot \text{h} = 3.6 \times 10^6 \text{J}$

二、电功率

电功率通常又简称为功率, 是表示电能转化成其他能的速率的物理量, 用 p 表示。电功率是分析电路时常用到的物理量之一。假定电路中 a 、 b 两点间的电压为 U_{ab} , 在时间 t 内, 将正电荷 q 从电路中 a 点移动到 b 点, 电路所做的功为 W , 则单位时间内, 电场力所做的功即电功率为

$$P = \frac{W}{t} \quad (1-4)$$

因为 $W = Uit$, 所以

$$P = UI \quad (1-5)$$

由上式可知电功率与电路两端电压和电路中的电流成正比。

通常, 用电设备上标出的电功率和电压是用电设备的额定功率和额定电压。在额定电压及额定功率下, 用电设备正常工作, 用电设备的电功率随所加电压变化而变化。

如果电流、电压选用关联参考方向, 计算所得功率值为负值时, 表示支路发出功率; 计算所得功率值为正值时, 表示支路吸收功率。

如果电流、电压选择非关联参考方向, 计算所得功率为正值时, 表示支路实际发出功率; 计算所得功率为负值时, 表示支路接受功率。

在直流情况下 $P = UI$, 功率的单位为瓦特, 简称瓦, 符号为 W 。国际单位制中常用的电功率还有千瓦 (KW)、兆瓦 (MW) 和毫瓦 (mW) 等。

例 1-1 图 1-6 所示为直流电路 $U_1 = 4\text{V}$, $U_2 = -8\text{V}$, $U_3 = 6\text{V}$, $I = 4\text{A}$ 求各元件接受或发出的功率 P_1 、 P_2 和 P_3 , 并求整个电路的功率 P 。

解: P_1 的电压参考方向与电流参考方向相关联, 故

$$P_1 = U_1 I = 4 \times 4 = 16\text{W} \text{ (接受 } 16\text{W)}$$

P_2 和 P_3 的电压参考方向与电流参考方向非关联, 故

$$P_2 = U_2 I = (-8) \times 4 = -32\text{W} \text{ (接受 } 32\text{W)}$$

$$P_3 = U_3 I = 6 \times 4 = 24\text{W} \text{ (发出 } 24\text{W)}$$

整个电路的功率 P 设接受功率为正, 发出功率为负, 故

$$P = 16 + 32 - 24 = 24\text{W}$$

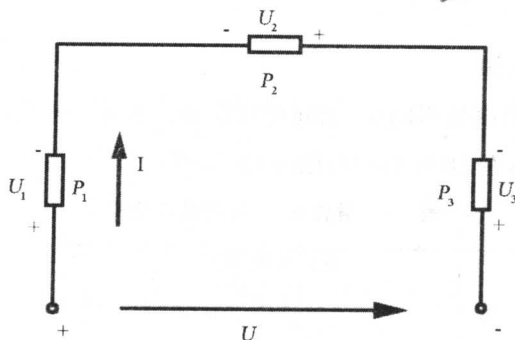


图 1-6 例 1-1

第五节 电阻元件和欧姆定律

一、电阻

根据导电性能的不同,自然界中的物质可以分为三大类:导体,绝缘体和半导体。如银、铜、铝和铁等物质其内部有大量自由移动的电子,它们是导电性能较好的物质,称为导体。而像塑料、陶瓷等物质其内部几乎没有自由移动的电子,它们是导电性能较差的物质,称为绝缘体。导电性能介于导体和绝缘体之间的物质称为半导体。

金属导体内大量的自由电子受电场力作用作定向运动时,除了自身的碰撞外还要和金属的原子相互碰撞。这种碰撞使自由电子移动的平均速度降低,表现出对电流的阻碍作用,这种阻碍作用我们称之为电阻,用符号 R 来表示,单位为欧姆(Ω)。国际单位制中电阻常用的单位还有千欧($K\Omega$)和兆欧($M\Omega$),它们的换算关系如下:

$$1K\Omega = 10^3\Omega$$

$$1M\Omega = 10^3K\Omega = 10^6\Omega$$

二、电阻定律

导体的电阻和许多因素有关,除了和导体的材料、形状和尺寸有关外,还和温度有关。实验已经证明,在温度不变时,导体的电阻跟它的长度成正比,跟横截面积成反比,并且和导体的材料有关。

反映在公式上即为

$$R = \rho \frac{L}{S} \quad (1-6)$$

上式中 ρ 为导体的电阻率与导体的材料有关;

L 导体的长度

S 导体的横截面积

不同材料的导体的电阻率是不同的,相同材料的导体在不同温度下电阻率也是不同的,表 1-1 中列出了一些常见导体在 20 度时的电阻率(近似值)

表 1-1 导体在 20 度时的电阻率

材料名称		电阻温度系数 ($0^{\circ}\text{C} - 100^{\circ}\text{C}$)($1/^{\circ}\text{C}$)	20°C 时的电阻率
导 体	银	3.6×10^{-3}	1.6×10^{-8}
	铜	4.1×10^{-3}	1.7×10^{-8}
	铝	4.2×10^{-3}	2.9×10^{-8}
	钨	5×10^{-3}	5.3×10^{-8}
	铁	6.2×10^{-3}	9.8×10^{-8}
	锡	4.4×10^{-3}	1.1×10^{-8}
半 导 体	纯净锗		0.6
	纯净硅		2300
绝 缘 体	塑料		$10^{15} - 10^{16}$
	橡胶		$10^{13} - 10^{16}$
	玻璃		$10^{10} - 10^{14}$
	云母		$10^{11} - 10^{15}$
	陶瓷		$10^{12} - 10^{13}$

电阻的阻值与温度有很大的关系,温度升高分子热运动加剧,电荷运动碰撞次数增加,受阻碍的作用增大,电阻的阻值就会发生变化。阻值与温度有以下近似关系

$$R_2 = R_1 [1 + \alpha(t_2 - t_1)] \quad (1-7)$$

式中 R_1, R_2 分别为温度 t_1, t_2 时刻的电阻值, α 为电阻的温度系数,实际数值等于温度升高 1 度时电阻的变化与原阻值的比值,用公式表示即

$$\alpha = \frac{R_2 - R_1}{R_1(t_2 - t_1)} \quad (1-8)$$

通常情况下,一般的金属材料的阻值都随温度的升高而升高。但也有些材料(如碳石墨等)特殊,它们在温度升高时其电阻值反而减小。而且还有一些合金材料(如锰钢,康铜)等,它

度系数很小,其阻值随温度变化不大。更重要的是,还有某些稀有材料及其合金在超

零度)时电阻呈现出无阻值现象,这个温度叫转变温度,我们把这种现象叫做超导

质的导体就称为超导体。超导体有着十分重要的应用,超导技术在医疗卫生,

等方面具有重要的研究意义和价值。随着对超导体研究的不断深入,已经可

步提高,超导体的应用限制会进一步降低,超导技术的应用会越来越广泛。

三、欧姆定律

1862年,德国物理学家欧姆从实验中确定了任意时刻电阻两端的电压和流过电阻的电流的关系。这一结论是:电路中电阻元件的电流 I 正比于加在电路元件两端的电压 U 。这个结论后来称为欧姆定律。

电阻元件的阻值不随其上的电压和流过的电流变化而改变,这样的元件叫线性电阻元件。电流大小和电压大小不成正比的电阻元件叫非线性电阻元件,本书只讨论线性电阻电路。可以用一种曲线来表示这种性质,这就是伏安特性曲线。定义元件的电流与电压的关系曲线叫做元件的伏安特性曲线。伏安特性曲线表现在线性电阻元件上就是一条通过坐标原点的直线。在电流和电压的关联参考方向下,线性电阻元件的伏安特性,如图 1-7 所示。欧姆定律的表达式为

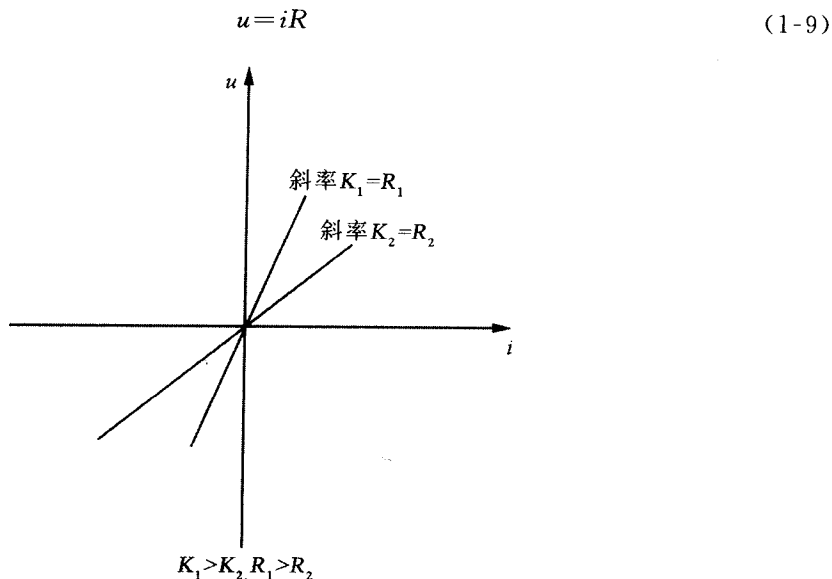


图 1-7 线性电阻的伏安特性曲线

令 $G=1/R$ 则上式变为,

$$i = uG \quad (1-10)$$

式中定义 G 为电阻元件的电导。

如果线性电阻元件的电流和电压的参考方向不关联,则欧姆定律的表达式为

$$u = -iR \quad (1-11)$$

$$i = -Gu \quad (1-12)$$

在电流和电压的参考方向选取为关联参考方向下,任何瞬时线性电阻元件接受的电功率为,

$$p = ui = Ri^2 = \frac{u^2}{R} = Gu^2 \quad (1-13)$$

若电流不随时间变化则

$$Q = W = P(t - t_0) = PT = RI^2 T = \frac{U^2}{R} T \quad (1-14)$$

以上两式就是通常所说的焦耳定律。

线性电阻元件的电阻有两种特殊情况值得注意：一种情况是电阻值 R 为无限大，电压为任何有限值时，其电流总是零，这时把它称为“开路”；另一种情况是电阻为零，电流为任何有限值时，其电压总是零，这时把它称为“短路”。

例 1-2 试求一个 220V, 100W 灯泡其灯丝电阻是多少？如果每天用 5 个小时，用一个月（按 30 天计算）消耗的电能是多少度？

解：灯泡灯丝电阻值为

$$R = \frac{U^2}{P} = \frac{220^2}{100} = 484\Omega$$

则一个月消耗的电能

$$W = PT = 100 \times 10^{-3} \times 5 \times 30 = 15 \text{KW} \cdot \text{h} = 15 \text{度}$$

第六节 电阻的连接方法

电阻的连接形式比较灵活，最常用的连接形式有三种：串联连接、并联连接和混联连接。

一、电阻的串联

在电路中把几个电阻元件依次一个一个首尾连接起来，中间没有分支，在电源的作用下流过各电阻的是同一电流。这种连接方式叫做电阻的串联。

串联连接电路具有两点性质：一是电路两端总电压等于各部分两端电压之和；二是电路中电流处处相等。如图 1-8 所示。

$$U = U_1 + U_2 + U_3 = (R_1 + R_2 + R_3)I$$

$$R_i = R_1 + R_2 + R_3$$

电阻串联时，各电阻上的电压为

$$U_1 = R_1 I = R_1 \frac{U}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{R_1}{R_1 + R_2 + R_3} U$$

$$U_2 = R_2 I = R_2 \frac{U}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{R_2}{R_1 + R_2 + R_3} U$$