

中等专业学校工科电子类教材

电 工 基 础

李 树 燕

西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

本教材是在 1985 年《电工基础》第一版的基础上改编的。改编的主要依据是 1991 年机电部中专电子技术类专业教学指导委员会编写的《电工基础》教学大纲。该大纲核定教学时数为 180 学时。

全书共分十一章,即:电路的基本概念和基本定律;直流电阻电路的分析与计算;静电场与电容;恒定磁场与电感;正弦交流电路的稳态分析;三相正弦交流电路;非正弦电路;线性动态电路的分析;互感耦合电路;磁路及变压器;交变电磁场简介。

本书的编写立足于培养生产第一线的、实践型和应用型的中级技术人才。本教材深入浅出,联系实际,文字通顺,例题丰富,便于教学。

本书供中专电子类各专业使用,也可供机电结合的各专业使用,欢迎成人中专、职校有关专业选用。

中等专业学校工科电子类教材

电 工 基 础

李树燕

责任编辑 夏大平

西安电子科技大学出版社出版

西安市秦群印刷厂印刷

陕西省新华书店发行 各地新华书店经售

开本 787×1092 1/16 印张 17 4/16 字数 408 千字

1994 年 6 月第 1 版 1998 年 4 月第 5 次印刷 印数 40 001—50 000

ISBN 7 - 5606 - 0179 - 0/TM • 0006(课) 定价: 15.50 元

出版说明

根据国务院关于高等学校教材工作的规定，我部承担了全国高等学校和中等专业学校工科电子类专业教材的编审、出版的组织工作。由于各有关院校及参与编审工作的广大教师共同努力，有关出版社的紧密配合，从1978~1990年，已编审、出版了三个轮次教材，及时供给高等学校和中等专业学校教学使用。

为了使工科电子类专业教材能更好地适应“三个面向”的需要，贯彻国家教委《高等教育“八五”期间教材建设规划纲要》的精神，“以全面提高教材质量水平为中心，保证重点教材，保持教材相对稳定，适当扩大教材品种，逐步完善教材配套”，作为“八五”期间工科电子类专业教材建设工作的指导思想，组织我部所属的九个高等学校教材编审委员会和四个中等专业学校专业教学指导委员会，在总结前三轮教材工作的基础上，根据教育形势的发展和教学改革的需要，制订了1991~1995年的“八五”（第四轮）教材编审出版规划。列入规划的，以主要专业主干课程教材及其辅助教材为主的教材约300多种。这批教材的评选推荐和编审工作，由各编委会或教学指导委员会组织进行。

这批教材的书稿，其一是从通过教学实践、师生反映较好的讲义中经院校推荐，由编审委员会（小组）评选择优产生出来的，其二是在认真遴选主编人的条件下进行约编的，其三是经过质量调查在前几轮组织编定出版的教材中修编的。广大编审者、各编审委员会（小组）、教学指导委员会和有关出版社，为保证教材的出版和提高教材的质量，作出了不懈的努力。

限于水平和经验，这批教材的编审、出版工作还可能有缺点和不足之处，希望使用教材的单位，广大教师和同学积极提出批评和建议，共同为不断提高工科电子类专业教材的质量而努力。

机械电子工业部电子类专业教材办公室

前 言

本教材系按中国电子工业总公司的工科电子类专业教材 1991~1995 年编审出版规划,由机电部中专电子技术类专业教学指导委员会征稿并推荐出版。责任编委为赵震初。

本教材由南京无线电工业学校李树燕担任主编,北京市电子工业学校徐捷担任主审。

本课程的参考学时数为 180 学时。本教材主要内容为交直流电路的分析和计算,电场和磁场的基本物理量的阐述,以及电磁现象基本规律的描述。使用本教材时,学生应具备中专数学和中专物理的基础知识。

本教材在编写过程中得到南京无线电工业学校陈一葵的大力支持和协助,对此,编者致以衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中难免还存在一些缺点和错误,殷切希望广大读者批评指正。

编 者

1993 年元月

目 录

第一章 电路的基本概念和基本定律	1
§ 1-1 电路发展简史	1
§ 1-2 电路的基本知识	1
§ 1-3 电阻元件	6
§ 1-4 电压源与电流源	9
§ 1-5 基尔霍夫定律	14
习 题	19
第二章 直流电阻电路的分析与计算	23
§ 2-1 电阻的串联和并联	23
§ 2-2 电阻的 Y 形联接与 Δ 形联接的等效变换	26
§ 2-3 电路中各点电位的分析	29
§ 2-4 网孔法	31
§ 2-5 节点法	34
§ 2-6 叠加定理	38
§ 2-7 戴维南定理和诺顿定理	41
§ 2-8 受控源	46
§ 2-9 负载获得最大功率的条件	49
习 题	49
第三章 静电场与电容	55
§ 3-1 电场与电场强度	55
§ 3-2 电介质与介质的极化	60
§ 3-3 高斯定理	62
§ 3-4 平板电容器和圆柱形电容器的电容	67
§ 3-5 电容元件	69
§ 3-6 电容元件的并联和串联	70
习 题	73
第四章 恒定磁场与电感	76
§ 4-1 磁场与磁感应强度	76
§ 4-2 磁通与磁导率	79
§ 4-3 安培环路定律	81
§ 4-4 电磁感应定律	84
§ 4-5 电感元件	85
§ 4-6 磁场能量	88
习 题	89

第五章 正弦交流电路的稳态分析	91
§ 5-1 正弦量的三要素	91
§ 5-2 交流电的有效值	97
§ 5-3 复数简述	99
§ 5-4 正弦量的相量表示法	102
§ 5-5 正弦交流电路中的电阻元件	104
§ 5-6 正弦交流电路中的电感元件	107
§ 5-7 正弦交流电路中的电容元件	110
§ 5-8 相量形式的基尔霍夫定律	113
§ 5-9 $R-L-C$ 串联电路的分析	115
§ 5-10 多阻抗的串联、串联谐振	120
§ 5-11 用阻抗法分析并联电路	123
§ 5-12 用导纳法分析并联电路	125
§ 5-13 复阻抗与复导纳的等效变换	129
§ 5-14 用相量法分析复杂的交流电路	131
§ 5-15 功率因数的提高	133
§ 5-16 交流电路的实际元件	135
§ 5-17 正弦交流电路负载获得最大功率的条件	137
习 题	139
第六章 三相正弦交流电路	147
§ 6-1 三相交流电压	147
§ 6-2 三相电源的连接	149
§ 6-3 三相负载的连接	151
§ 6-4 三相电路的功率	156
§ 6-5 三相电流的旋转磁场	157
§ 6-6 保护接地与保护接零	161
习 题	163
第七章 非正弦电路	166
§ 7-1 非正弦周期波的产生	166
§ 7-2 非正弦周期波的分解	167
§ 7-3 周期性非正弦量的最大值、平均值和有效值	171
§ 7-4 非正弦周期性电路的分析与计算	172
§ 7-5 周期性非正弦电路的功率	176
§ 7-6 滤波器的概念	179
习 题	182
第八章 线性动态电路的分析	184
§ 8-1 电路的过渡过程与换路定律	184
§ 8-2 $R-C$ 电路短接时的过渡过程(零输入响应)	188
§ 8-3 $R-C$ 串联电路接通直流电压后的过渡过程(零状态响应及全响应)	191

§ 8-4 $R-L$ 串联电路中的动态分析	198
§ 8-5 一阶电路的三要素法	204
§ 8-6 $L-C$ 电路中的自由振荡	210
§ 8-7 $R-L-C$ 串联电路的零输入响应	212
习 题	217
第九章 互感耦合电路	222
§ 9-1 互感	222
§ 9-2 互感线圈的串联	228
§ 9-3 互感线圈的并联	232
§ 9-4 空芯变压器	235
习 题	240
第十章 磁路及变压器	243
§ 10-1 铁磁性物质	243
§ 10-2 磁路和磁路定律	246
§ 10-3 恒定磁通无分支磁路的计算	248
§ 10-4 交流铁芯线圈	250
§ 10-5 理想变压器	254
§ 10-6 实际变压器	257
习 题	260
第十一章 交变电磁场简介	263
§ 11-1 电磁感应定律及其引申	263
§ 11-2 位移电流和全电流定律	265
§ 11-3 电磁场和电磁波	267

第一章 电路的基本概念和基本定律

§ 1-1 电路发展简史

电工技术是当代自然科学技术的重要组成部分,而电路理论又是当代电工科学技术的重要理论基础之一。在经历了一个多世纪以后,它已发展成一个体系完整、逻辑严密,具有强大生命力的科学领域。电路理论的内容十分丰富,发展极为迅速,对国民经济的发展和众多学科的发展有着重大影响。我们简要地回顾一下电路发展历史,对学习电工基础是十分有利的。电路理论的发展,大体上经历了三个阶段。

(1) 从 19 世纪 20 年代开始到 20 世纪 30 年代,电路理论被看成电磁学的一个分支。这一时期的主要成果有:1827 年的欧姆定律,1845 年的基尔霍夫定律,1894 年把复数应用于电路,1911 年提出的阻抗概念,等等。

(2) 从 20 世纪 30 年代开始,至 60 年代初,伴随着电力系统、通讯系统和控制系统的发展,电路理论逐步成熟,形成一门独立的学科,通常称为传统电路理论或经典电路理论。到了 40 年代这门学科的体系在分析方面主要包含直流电路、交流电路和瞬态等几个组成部分;在综合方面主要包含实现、逼近和等值几个部分。这期间,出现了以传输能量为特征的强电分支和以传输信号为特性的弱电分支。

(3) 从 1960 年至今,电路理论又经历了一次重大的变革。这一变革的主要特征是新型电路元件的出现和计算机的冲击。从原来研究线性、定常、无源、双向元件的 RLC 电路理论,向研究非线性的、时变的、有源的、非倒易的电路理论发展。60 年代以后的电路理论一般称之为近代电路理论。

本书运用了近代电路理论的观点,来叙述经典电路理论的内容,并且特别强调了联系工程实际,为培养中级技术人材服务。全书以讲清物理概念、定性分析为主,必要的计算也是围绕着巩固概念、熟悉分析方法而进行的。计算经常是联系工程实际进行,避免人为地制造巧妙解题。

§ 1-2 电路的基本知识

一、电路和电路模型

人们在日常生活、生产和科学研究中广泛地使用着种类繁多的电路,例如家庭使用的照明电路;收音机和电视机中,有将微弱信号进行放大的放大电路;计算机中有存储信息的记忆电路;交通运输中有各种信号的控制电路;自动化生产线上有各种专门用途的电子线路等等。

实际电路是由电工设备和元器件等组成的。电路是由电工设备和元器件按一定方式联接起来的总体,为电流流通提供了路径。我们把电路中供给电能的设备和器件称为电源,

而把用电设备和器件称为负载。手电筒电路就是一个简单的实用电路。这个电路由一个电源(干电池)、一个负载(小灯泡)、一个开关和连接导体(手电筒壳)所组成(图 1-2-1)。其电路图如图 1-2-2。

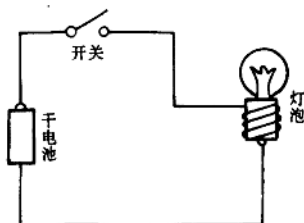


图 1-2-1 手电筒电路

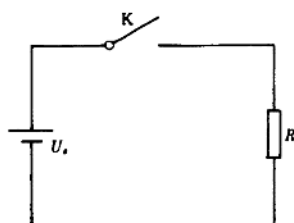


图 1-2-2 图 1-2-1 的电路图

实际电路中的元件虽然种类繁多，但在电磁现象方面却有共同之处。只不过有的元件主要是消耗电能，如各种电阻器、电灯、电铬铁等；有的元件主要是储存磁场能量，如各种电感线圈；有的元件主要是储存电场能量，如各种类型的电容器；有的元件主要是提供电能，如电池和发电机。为了便于对电路进行分析和计算，我们常把实际的元件加以近似化、理想化，在一定的条件下用足以表征其主要特征的“模型”来表示。例如，我们用“电阻元件”这样一个理想电路元件来反映消耗电能的特征，因为当电流通过电阻元件时，在它内部进行着把电能转换成热能等不可逆的过程。这样，在电源频率不十分高的电路中，所有的电阻器、电灯、电铬铁等实际电路元件，都可以用“电阻元件”这个理想元件(模型)来近似地表示。同样，电感线圈可以用“电感元件”来近似地表示，电容器可以用“电容元件”来近似地表示。干电池、蓄电池等直流电源则可用一个“电压源(元件)”来近似地表示。

电路中的实际元件用其模型表示后，就可绘出只由理想元件组成的电路图。这种由理想元件构成的电路，就称为实际电路的“电路模型”。今后本书中未加特殊说明时，我们所说的电路均为这种抽象的电路模型，所说元件均指理想元件。

为了简便起见，一般电路都不画出实物图，而是画出电路图。各种理想元件都采用了一定的符号，常用电路元件的符号见表 1-2-1。

二、单位制

本书采用国际单位制(SI)。在国际单位制中长度以米(m)为单位；质量以千克(kg)为单位；时间以秒(s)为单位；电流强度以安培(A)为单位；热力学温度以开尔文(K)为单位；物质的量以摩尔(mol)为单位；发光强度以坎德拉(cd)为单位。其他物理量的单位则根据其定义从这些基本单位导出。例如，电量的单位是库仑(C)，1 库仑=1 安培·秒；力的单位是牛顿(N)，1 牛顿=1 千克·米/秒²，等等。

表 1-2-1 常见电路元件的符号

元件名称	符 号	元件名称	符 号
电 池		可变电容	
电压源		无铁芯的电感	
电流源		有铁芯的电感	
电 阻		相连接的交叉导线	
可变电阻		不相连接的交叉导线	
电 容		开 关	

除了 SI 主单位之外,有时需用 SI 单位的十进制倍数单位,这时则在原单位上加词头。常用的 SI 词头如表 1-2-2 所示。

例如, $1 \text{ kV} = 10^3 \text{ V}$, $1 \text{ mA} = 10^{-3} \text{ A}$, $1 \mu\text{s} = 10^{-6} \text{ s}$ 。

表 1-2-2 SI 常用词头

因数	词头名称		符号	因数	词头名称		符号
	原文(法)	中文			原文(法)	中文	
10^9	giga	吉	G	10^{-2}	centi	厘	c
10^6	mega	兆	M	10^{-3}	milli	毫	m
10^3	kilo	千	k	10^{-6}	micro	微	μ
10^2	hecto	百	h	10^{-9}	nano	纳	n
10	deca	十	da	10^{-12}	pico	皮	p

三、电流和电压

在中专物理中已经学过,电荷的定向移动就叫做电流。电流的实际方向习惯上指正电荷运动的方向。单位时间内通过导体横截面的电量定义为电流强度,用以衡量电流的大小。电流强度简称为电流,用符号 i 表示。大小和方向均不随时间改变的电流叫做恒定电流,简称直流,其强度用符号 I 表示。

在分析电路时,由于对复杂电路中某一段电路里的电流的实际方向有时很难立即判定,有时电流的实际方向还在不断地改变,因此在电路中很难标明电流的实际方向。鉴于这些原因,引入了电流“参考方向”这一概念。

在一段电路中事先任意选定一个方向作为电流的方向,这个选定的电流方向就叫做电

流的参考方向。当然所选定的电流参考方向并不一定就是电流的实际方向。参看图 1-2-3, 若电流的实际方向与任意选定的电流参考方向一致, 则电流值为正, 即 $i > 0$; 反之, 若电流的实际方向与选定的参考方向相反, 则电流值为负, 即 $i < 0$ 。这样, 电流便成为一个代数量, 其值有正有负。于是在选定的电流参考方向下, 根据电流值的正和负, 就可以确定出某一时刻电流的实际方向。

如图 1-2-3 所示, 本书中电流的参考方向用实线箭头表示, 电流的实际方向用虚线箭头表示。有时电流的参考方向也用双下标表示, 如 i_{AB} , 其参考方向是由 A 指向 B。

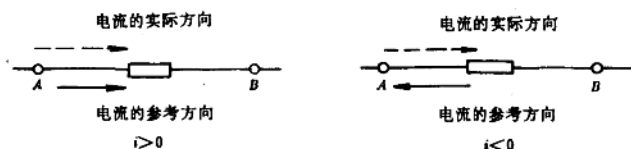


图 1-2-3 电流的参考方向与实际方向

电流的单位是安培 (Ampere), 符号为 A。有时也会用到 kA (千安)、mA (毫安) 等。

电路分析中用到的另一个重要物理量是电压。电路中 A、B 两点间电压的大小等于电场力由 A 点移动单位正电荷到 B 点所作的功, 用符号 u 表示。A、B 间的电压也就是 A 点的电位与 B 点的电位之差。

两点之间电压的实际方向是由高电位点指向低电位点。与前面所述理由相同, 对元件或电路两端, 可以任意选定一个方向为电压的参考方向, 同时, 把电压看成代数量。当电压的实际方向与它的参考方向一致时, 电压值为正, 即 $u > 0$; 反之, 当电压的实际方向与它的参考方向相反时, 电压值为负, 即 $u < 0$ 。

国际上常对电压采用规定参考极性的方法。其参考极性是在元件或电路两端用“+”“-”符号来表示: “+”号表示高电位端, 叫正极性; “-”号表示低电位端, 叫负极性。当电压值为正时, 该电压的真实极性与所标的参考极性相同; 当电压值为负时, 该电压的真实极性与所标的参考极性相反。电压由正极性指向负极性的方向就是电压的参考方向。

在电路中 (图 1-2-4), 电压的参考方向可以用一个实线箭头来表示; 也可以用正 (+)、负 (-) 极性来表示; 还可以用双下标来表示, 如 U_{AB} 表示这电压的参考方向由 A 指向 B。

电压的单位是伏特 (Volt), 简称伏, 国际符号为 V。有时也用到 kV (千伏)、mV (毫伏) 或 μV (微伏)。

对任何电路进行分析时, 都应先选定各处的电压和电流的参考方向。在未选定参考方向的情况下, 电流或电压的正负都是毫无意义的。参考方向在电路分析中起着十分重要的作用。

对于一段电路或一个元件上电压的参考方向和电流的参考方向可以单独地加以选定。如果选定电流的参考方向与电压的参考方向一致, 即选定电流从标以电压“+”极性的一端流向标以“-”极性的另一端, 则把电流和电压的这种参考方向称为关联参考方向, 简称为关联方向, 见图 1-2-5。

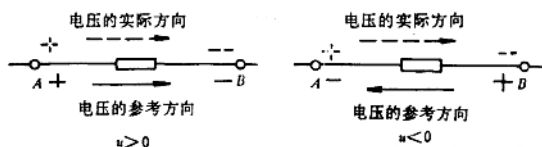


图 1-2-4 电压的参考方向和它的实际方向

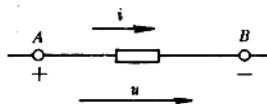


图 1-2-5 电压和电流的关联参考方向

四、功率

电路分析中还常用到的一个物理量是电功率,简称功率(power)。当正电荷从电路元件的电压“+”极性经元件移到电压的“-”极性,即从高电位端移到低电位端时,是电场力对电荷做功,这时元件吸取能量。相反地,正电荷从元件的电压“-”极性经元件移到电压的“+”极性,是外力克服电场力对电荷做功,这时元件向外放出能量。

设在 dt 时间内,当正电荷 dq 从电路元件的电压“+”极经元件移到电压“-”极,如元件上电压降为 u ,则电场力对电荷做功为

$$dW = udq$$

也就是说,在 dt 时间内,电路元件吸取(或消耗)了电能 dW 。

电能量对时间的变化率就是电功率。用符号 p 表示,即为

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

由于

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

所以

$$p = ui$$

(1-2-1a)

在电压和电流的关联参考方向下,功率 p 是元件吸取的功率。当计算出功率值为正即 $p > 0$ 时,表示元件实际吸取或消耗功率;当计算出功率值为负即 $p < 0$ 时,表示元件实际发出功率,如图 1-2-6 所示。

如果电压参考方向与电流的参考方向相反,则

$$p = -ui$$

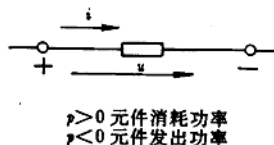
(1-2-1b) 图 1-2-6 功率($p > 0$ 时元件

式中负号的作用,是将非关联方向转化为关联方向看待。此时,当 $p > 0$,仍表示元件吸取或消耗功率; $p < 0$ 时,表示元件发出功率。

在国际单位制中,电压单位为伏,电流单位为安,则功率的单位为瓦特(Watt),简称瓦(W)。

以上有关功率的讨论同样适用于一段电路。

例 1-2-1 试判断图 1-2-7 中元件的功率是发出功率还是吸收功率,并计算其值。



吸收电能, $p < 0$
时元件发出电能)

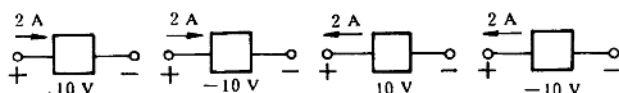


图 1-2-7 例 1-2-1 插图

解 (a) 元件上电压与电流为关联方向, 元件吸取的功率为

$$p = ui = 10 \times 2 = 20 \text{ W}$$

此时元件吸取(消耗)的功率为 20 W。

(b) 元件上电压与电流为关联方向, 元件吸取的功率为

$$p = ui = -10 \times 2 = -20 \text{ W}$$

此时元件发出之功率为 20 W。

(c) 元件上电压与电流为非关联方向, 元件吸取的功率为

$$p = -ui = -10 \times 2 = -20 \text{ W}$$

此时元件发出之功率为 20 W。

(d) 元件上电压与电流为非关联方向, 元件吸取的功率为

$$p = -ui = (-10) \times 2 = 20 \text{ W}$$

此时元件吸取(消耗)的功率为 20 W。

§ 1-3 电阻元件

一、电阻与电导

电阻元件是一种对电流呈现阻碍作用的元件。由于电阻元件有阻碍电流流动的作用, 所以电流流过电阻元件就要消耗电能。因此沿电流流动方向必然会出现电压降。在电压和电流的关联方向下(图 1-3-1), 欧姆定律可写为

$$u = Ri \quad (1-3-1)$$

式中 R 为元件的电阻。电阻元件可以用它的电阻 R 来表征它的特性, 因此 R 是一个电路参数。当电压 u 的单位为伏(V)、电流 i 的单位为安(A)时, R 的单位为欧姆(Ohm), 简称欧(Ω)。

线性电阻元件是二端理想元件, 即在任何时刻, 它两端的电压与其电流的关系都服从欧姆定律。

如果把电阻元件的电压取为纵坐标, 电流取为横坐标, 画出电压和电流的关系曲线, 则这条曲线称为该电阻元件的伏安特性曲线。线性电阻元件的伏安特性是通过坐标原点的一条直线, 如图 1-3-2 所示。

电阻的倒数称为电导, 用符号 G 表示, 则

$$G = \frac{1}{R} \quad (1-3-2)$$

电导的单位是西门子(Siemens), 符号为 S。用电导表征电阻元件时, 欧姆定律为

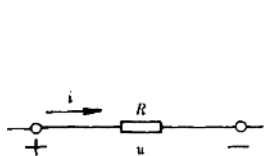


图 1-3-1 线性电阻

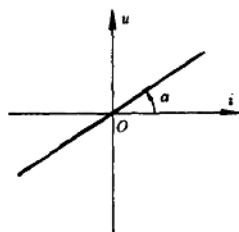


图 1-3-2 线性电阻元件的伏安特性

$$i = G u$$

(1-3-3)

如果电阻元件电压的参考方向与电流的参考方向相反，则欧姆定律写为

$$u = -R i$$

$$i = -G u$$

或

所以公式必须与参考方向配套使用。

在电压和电流的关联方向下，任何时刻线性电阻元件吸取的功率为

$$p = R i^2 = G u^2$$

(1-3-4)

电阻 R 和电导 G 是正实常数，故功率 p 恒为正值。这说明，任何时刻电阻元件绝不可能发出电能，而是从电路中吸取电能，所以电阻元件是耗能元件。

与线性电阻元件不同，非线性电阻元件的伏安特性不再是一条通过原点的直线，而是一条曲线。所以元件上电压和通过元件的电流不服从欧姆定律，它们不成正比。图 1-3-3 给出某二极管的伏安特性。

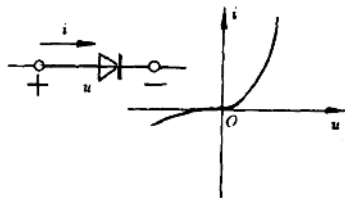


图 1-3-3 二极管的伏安特性

严格来说，所有电阻器、电灯、电炉等实际电路元件的电阻都或多或少是非线性的。但是，对于金属膜电阻、碳膜电阻、线绕电阻等实际元件，在一定范围内，它们的阻值基本不变。若当作线性电阻来处理，可以得出满足实际需要的结果。

今后，为了叙述方便，把电阻元件简称为电阻。这样，“电阻”一方面表示一个电阻元件，另一方面也表示这个元件的参数。

二、电阻的温度系数

导体的电阻与温度有关。当温度升高时，导体内的自由电子(或离子)在定向运动的过程中与导体中的晶体点阵(或分子)碰撞的次数增多，其平均速度降低，所以电流减小，电阻增加；另一方面，温度升高又会使得导体的自由电子浓度(或离子浓度)增加，使电流变大，电阻减小。这两种相反的作用同时存在，使电阻与温度之间的关系出现三种不同情况。在第一类导体(如金属)中，当温度升高时，自由电子的碰撞加剧占优势，因此电阻随温度的升高而增加。在第二类导体(如电解液、碳素)中，当温度升高时，自由电子浓度(或离子浓度)增加占优势，因而电阻随温度升高而减小。在第三类导体(如康铜、锰铜等某些合金)

中,两种相反的作用接近抵消,以致温度升高或降低时,电阻几乎没有变化。

设 R_1 为某导体在温度 t_1 时的电阻, R_2 为温度 t_2 时的电阻,那么电阻的相对增量为 $(R_2 - R_1)/R_1$ 。在大量实验的基础上发现:在 0°C 至 100°C 的范围内,金属导体电阻的相对增量与温度变化成正比,即

$$\frac{R_2 - R_1}{R_1} \propto t_2 - t_1$$

或

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

那么

$$R_2 = R_1[1 + \alpha(t_2 - t_1)] \quad (1-3-5)$$

其中 α 为一比例常数,称为电阻温度系数。它的物理意义是:升高单位温度时导体电阻的增加率(相对增量)。 α 的单位是 $1/^\circ\text{C}$ (或 $1/^\circ\text{C}$)。

各种金属的电阻温度系数不同,它们的数值由实验测定。常见材料的电阻温度系数见表 1-3-1。

表 1-3-1 常见材料的电阻温度系数

材 料	平均电阻温度系数 ($0 \sim 100^\circ\text{C}$) α ($1/^\circ\text{C}$)	材 料	平均电阻温度系数 ($0 \sim 100^\circ\text{C}$) α ($1/^\circ\text{C}$)
银	0.003 5	铂	0.003 89
铜	0.004 1	康铜	0.000 005
铝	0.004 2	锰铜	0.000 05
黄铜(铜锌合金)	0.002	镍铬合金	0.000 013
铁	0.001	碳	-0.000 5
钨	0.005 2		

例 1-3-1 有一铜质漆包线绕成的线圈,在 20°C 时,测得电阻为 $2\ \Omega$,使用 4 小时(h)后,测得线圈的电阻为 $2.5\ \Omega$,问此时线圈的温度为多少。

解 已知 $R_1 = 2\ \Omega$, $R_2 = 2.5\ \Omega$, $t_1 = 20^\circ\text{C}$,查表 1-3-1 知铜的电阻温度系数 $\alpha = 0.004\ 1/^\circ\text{C}$ 。由式(1-3-5)有

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

代入数值

$$2.5 = 2[1 + 0.004\ 1(t_2 - 20)]$$

$$t_2 = \frac{2.5 - 2}{2 \times 0.004\ 1} + 20 = 61 + 20 = 81^\circ\text{C}$$

锰铜、康铜的电阻温度系数很小,用它们制成的电阻差不多不随温度变化,所以常用来制作标准电阻、电阻箱以及电工仪表中的分流电阻和附加电阻。

有些半导体材料的电阻温度系数特别大,而且是负值。这是由于随着温度增高半导体内载流子大量增加的缘故。热敏电阻就是由这样的半导体材料制成的,在电子线路中常用来补偿其它元件的电阻随温度的变化。

现在介绍一下电器设备的额定值。电器设备的额定值是制造厂给用户提供的,它是考虑设备安全运行的限额值,也是设备经济运行的使用值。设备在额定运行情况下能保证设

备的一定寿命。通常制造厂规定了在一定的工作条件下电器产品的额定电压、额定电流、额定功率等等。确定产品额定值要考虑很多因素,其中最主要的因素就是考虑绝缘的可靠性。

如果外加电压大大高于额定电压,电器设备的绝缘材料将被击穿,造成短路事故。如果通过设备的电流超过额定值,设备温度过高,不仅影响寿命,有些材料甚至会出现碳化,造成设备和人身事故。如果外加电压或工作电流比额定值小得多,那么有些电器设备就会处于工作不良状态,有的不能工作甚至引起事故。例如额定电压为 220 V,额定功率为 40 W 的灯泡,若接到电压 300 V 上,灯泡寿命将大大缩短;若接到 110 V 的电压上,则灯光昏暗。又如一单位只需用电 20 kW,却安装一台 200 kV·A 的变压器,显然是不经济的。

现代科学发展迅速,近年来超导现象(或零电阻现象)正在成为研究热点。实验证明,在温度很低时,某些金属材料的电阻陡降到 0。具有这种超导电性质的物体称为超导体,电阻突变为 0 的温度称为超导转变温度或临界温度。1986 年以前最高的临界温度是 23.2 K,1986 年以后高温超导材料的研究取得了惊人而迅猛的发展,临界温度可达 92 K 或更高一些。超导体的化学成分是镱、钡、铜、氧等。超导体有许多特殊的优良特性,如完全导电性、完全抗磁性等等。在用超导材料做成的电路中,电流一经激发,不需电源便能持续几个星期之久,并不发热。目前世界上对超导材料的应用正在深入研究。例如在电能传输上能避免损耗;用超导材料制作的设备,可省去冷却装置,减小体积;在计算机中利用超导隧道结作逻辑开关元件及存储元件,可以大大提高计算速度,可以制成能耗极低、非常小巧的超高速电子计算机,等等。将来如能实现室温超导,则现代文明技术的一切方面都将发生深刻的变化。

§ 1-4 电压源与电流源

在电路分析中,除了会遇到像电阻元件那样的无源元件以外,还会遇到电压源和电流源这样的有源元件。

一、电压源

像干电池、蓄电池等直流电源,有时可以近似地用一个直流理想电压源来表征。直流理想电压源是一个具有两个端钮的理想电路元件,其端电压与通过它的电流无关,是一个恒定值。所以直流理想电压源具有如下两个特点:(1) 它的端电压固定不变,即不会因为它所联接的外电路不同而改变;(2) 通过它的电流可以改变,其取决于与它联接的外电路。以后我们把直流理想电压源简称为直流电压源。

推广到更一般的情况,凡端电压可以按照某给定规律变化而与其电流无关的电源,就称为理想电压源,简称为电压源。电压源也具有如下两个特点:(1) 它的端电压 $u_s(t)$ 是一固定的函数,与所联接的外电路无关;(2) 通过它的电流则随与它联接的外电路的不同而改变。

直流电压源的端电压一般用 U_s 表示,其图形符号如图 1-4-1(a)所示,“+”、“-”号是 U_s 的参考极性。 U_s 的参考方向是由“+”端指向“-”端。图 1-4-1(b)是常用的电池符号,其中长线段代表高电位端即正极,短线段代表低电位端即负极。图 1-4-1(c)给出

了直流电压源的伏安特性，它是一条与横轴平行的直线，表明其端电压与电流大小无关。

更一般的电压源，其图形符号与直流电压源一样，只是它的端电压用小写 u 表示，见图 1-4-2。

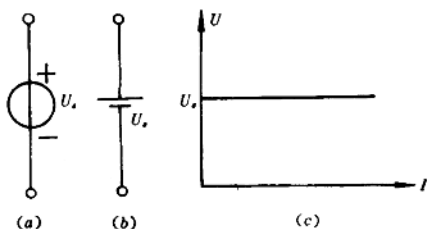


图 1-4-1 直流电压源及其伏安特性曲线

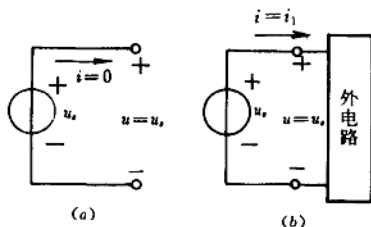


图 1-4-2 电压源及其外接电路

电压源这种二端理想元件实际上是不存在的。实际的电源，其端电压都是随着电流的变化而变化的。例如，当电池接通负载后，其电压就会降低，这是由于电池内部有电阻的缘故。在这种情况下，我们可以用一个直流电压源 U_s 和内阻 R_i 相串联的模型来表征实际的直流电源，见图 1-4-3(a)。

这时，实际直流电源的端电压为

$$U = U_s - U_{R_i} = U_s - IR_i \quad (1-4-1)$$

式中， U_s 的参考方向与 U 的参考方向一致，故取正号， U_{R_i} 的参考方向与 U 的参考方向相反，故在 U_{R_i} 前面取负号。式(1-4-1)所反映的 U 与 I 的关系也可用图来表示，如图 1-4-3(b)。

在电路中，电压源中电流的实际方向既可以从电压源的低电位端流向高电位端，也可以从高电位端流向低电位端。如果电流从电压源的低电位端流向高电位端，这时局外力克服电场力移动正电荷(由低电位端至高电位端)而作功，那么电压源起电源的作用，发出功率，例如图 1-4-3(a)中的 U_s 。反之，电流从电压源的高电位端流向低电位端，电压源吸收功率，这时电压源成为负载。

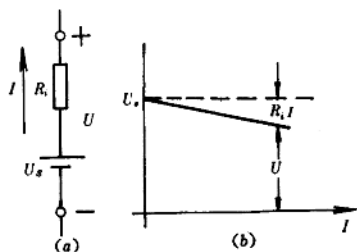


图 1-4-3 电池的电路图及其伏安特性曲线

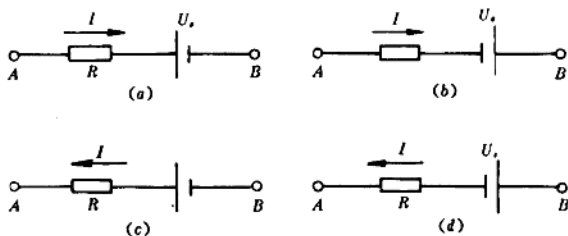


图 1-4-4 例 1-4-1 插图

例 1-4-1 写出图 1-4-4 所示各段电路的 U_{AB} ，并说明电压源 U_s 所起的作用。

解 根据所设电流参考方向先标出电阻上电压降的极性。至于电压源，正负极性都是给定的。

(a) $U_{AB} = IR + U_s$ ， U_s 为一负载。