



高职高专规划教材

电工电子 技术基础

沈国良 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

高职高专规划教材

电工电子技术基础

主 编 沈国良
副主编 蒋红焰 李 军
参 编 贾海瀛 张书伟 赵旭升
主 审 狄建雄



机械工业出版社

本书系制冷与空调专业系列高职高专教材之一。为了突出高等职业技术教育培养适应当前生产、管理、服务第一线需要的应用性专门人才的特点,将电路知识和电子技术有机地结合在一起,增加了电动机的电子控制技术内容,并配有实用电工知识章节,还在附录中列举了国家最新发布的常用的电工图形符号。

本书主要包括电路基础、电子技术基础、电动机及其控制技术三大部分。全书共有十四章,其中有:电路的基本概念、电路的基本连接与分析基础、正弦交流电路、三相交流电路、一阶电路的瞬态分析、分立元件基本电路、数字集成电路、集成运算放大器、正弦波振荡电路、模拟量和数字量的转换、功率放大电路、变压器与异步电动机、电气控制技术、实用电工知识。每一节都配有思考与练习,每一章配有小结和习题,并提供了部分习题答案。

本书不仅可以作为工科类非电专业的高职、高专教材,同时可以作为爱好电工电子技术的自学成才者的帮手,也可供有关部门工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电工电子技术基础/沈国良主编. —北京:机械工业出版社, 2003.8

高职高专规划教材

ISBN 7-111-12352-2

I. 电... II. 沈... III. ①电工技术-高等学校:技术学校-教材②电子技术-高等学校:技术学校-教材 IV. ①TM②TN

中国版本图书馆CIP数据核字(2003)第044098号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑:王世刚 倪少秋 徐明煜 版式设计:冉晓华

责任校对:李秋荣 封面设计:饶薇 责任印制:路琳

北京机工印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2003年8月第1版·第1次印刷

787mm×1092mm $\frac{1}{16}$ ·24.25印张·566千字

定价:30.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010)68993821、88379646

封面无防伪标均为盗版

编写说明

随着科技发展、社会进步和人民生活水平的不断提高,制冷与空调设备的应用几乎遍及生产、生活的各个方面。运行和维护制冷与空调设备需要大批专门技术人才,尤其我国加入 WTO,融入国际竞争的大潮,社会对制冷空调设备的安装、维修、管理专业高级技术人才的需求量也愈来愈大。为了满足和适应社会不断增长的需要,全国已有数十所高职高专院校先后开设了“制冷与空调”专业,以加速制冷与空调专业应用型高级技术人才的培养。

为了编写出既有行业特色,又有较宽覆盖面,适应性、实用性强的专业教材,我们组织了全国十几所不同行业高职院校具有丰富教学和工程实践经验的教师编写了这套高职高专制冷与空调专业规划教材。书目见封四。

本套教材在编写过程中,结合我国制冷与空调专业的发展以及行业对高职高专人才的实际要求,在形式和内容上都进行了有益探索。在专业面向上,既涉及家用、商用制冷与空调设备,又涉及工业制冷空调设备,覆盖范围广;在内容安排上,既介绍传统的制冷空调原理、方法、设备,又补充了大量的新技术、新工艺、新设备,立足专业最前沿;在课程组织上,基本理论力求深入浅出、通俗易懂,实验、实训力求贴近生产,强调实际、实用;特别强调突出能力培养,体现高职特色,既可作为高职高专院校的专用教材,也可作为社会从业人员岗位培训教材。

本套教材编写过程中,得到了有关设计院所、施工单位、管理部门、生产企业和有关专家学者的大力支持。他们提出了许多宝贵意见,提供了大量技术资料 and 工程实例,使得教材内容更加丰富、详实,在此向他们表示衷心的感谢!

由于受理论水平、专业能力和知识面的限制,加之时间短促,全套教材中难免有疏漏和错误,恳请广大师生和读者批评指正,以便再版时修订、补充,不断完善和提高。

高职高专制冷与空调专业教材编审委员会

2003年3月

前 言

从 20 世纪 40 年代,在以电能为动力(电力)的基础上,开始了以信息技术、生物工程、新能源、新材料、空间技术、海洋技术为主要内容的现代技术革命。电的应用主要体现在电能和电信号两个方面,由于电能和电信号具有:易与其他形式能源(信号)之间相互转换,易输送(电信号还以电磁波形式在空间传播)和分配,易控制、测量、调整与监测等重要特点,所以电工电子技术在工业、教学、科研、交通、通信、国防等方面以及人们日常生活中得到了广泛应用和发展。目前,我国的空间技术、原子能应用技术等方面已达世界先进水平,在电子计算机、微电子技术、智能工程等领域正在奋起直追,努力赶上世界先进水平。而电子计算机、智能工程、原子能应用技术等现代技术革命的成果,又反过来促进电工电子技术的革新和发展,为电工和电子技术进一步广泛应用开辟了更加广阔的前景。

随着我国高等职业技术教育的兴起、各行业及专业的迅速发展,应用性职业技术的分类越来越细。为适应高职教育的需要,编写为专业配套的具有高等职业技术教育特色的专业基础和专业教材的呼声越来越高。为此,2002 年 5 月,由全国部分高职、高专院校联合成立了“制冷与空调专业系列高职教材编写委员会”,负责组织和实施制冷与空调专业系列高职教材的编写工作。本书为制冷与空调专业系列高职教材之一。

电工电子技术课程分《电工电子技术基础》和《电工电子技术基础实训》两册,教学参考学时分别为:理论教学 120~130 学时和实训教学 60 学时。本书为理论部分,共分 14 章,涵盖了有关强弱电方面的基本知识。主要内容有电路基础、电子技术基础、电动机及其控制技术的基本理论、基本定律等;常用电路元件和电子器件的工作原理、基本特性及主要参数的分析和选用;电路分析计算和电工测量及空调与制冷电路图(包括控制原理图)识图等实际技能。全书将电路和电子技术有机地结合起来。

《电工电子技术基础》课程是制冷与空调专业的一门重要基础课程。通过本课程的学习,获得必需的电工与电子技术的基本理论、基本知识,培养自身分析问题和解决问题的能力,为学习后续相关专业课程、毕业后从事制冷与空调专业技术工作及技术研发打下必要的理论基础。

本书的内容体系特点:1. 电路和电子技术适当结合。在第一章电路元件中介绍晶体管及其模型,在第二章中就可对含有这些元件的电路进行分析,为后

面学习电子技术打好基础。2. 适当加强数字电子技术, 将模拟和数字电子技术的内容适当交叉。其重点内容是电子触发电路和电子晶体管放大电路。3. 加强知识的综合和应用系统的介绍。以实用技术为重点, 增加了电工识图。4. 适当反映近代电力电子技术的发展。目前制冷和空调技术已从普通的电动机直接启动控制, 发展到高级的电子控制, 特别是中央空调系统, 应用了 DCS 系统进行控制, 集成电路和数字脉冲电路的应用非常普及, 用电子电路代替继电器控制电路已是近代电力电子技术的发展趋势, 故在第十三章中增加电子控制技术及制冷空调控制电路等方面的内容, 较大篇幅介绍了电子控制实用技术。5. 在每一节后附有一定的思考与练习供学习者复习, 在每一章后有本章小结, 并附有习题便于读者复习与练习, 本书附有部分习题答案, 供读者参考。6. 制冷与空调专业对第十三章的第四节可编程控制器若要单独设课可不讲授, 所以书中对这部分内容作了“*”号标示, 可以酌情选用。

本书由南京化工职业技术学院沈国良任主编, 并编写第三、四、五章; 高级工程师蒋红焰任副主编, 并编写第一、二章及第十四章的第一、三节; 山东商业职业技术学院李军任副主编, 并编写第六、八、九章; 天津职业大学贾海瀛编写第七、十、十一章; 徐州工业职业技术学院张书伟编写第十三章; 南京化工职业技术学院赵旭升编写第十二章及十四章的第一、二节; 南京工业职业技术学院狄建雄副教授担任主审。另外, 中国石化集团南京设计院蒋沛昌高级工程师和南京工业职业技术学院电气工程系的文孟莉老师在本书审稿中提出了许多宝贵的修改意见, 在此编者表示感谢。

学时分配的建议

章节	内容	教学时数		
		总时数	理论	备注
一	电路的基本概念	44	10	
二	电路的基本连接与分析基础		10	
三	正弦交流电路		14	
四	三相交流电路		6	
五	一阶电路的瞬态分析		4	
六	分立元件基本电路	40	8	
七	数字集成电路		10	
八	集成运算放大器		6	
九	正弦波振荡电路		4	
十	数模和模数转换		4	
十一	功率电子电路	30 + 16*	8	
十二	变压器及异步电动机		12	
十三	电气控制技术		9 + 16*	
十四	实用电工知识		9	
附录汇总				
合计		114 + 16*	114 + 16*	

由于编者的学识和水平有限，书中必然会存在不足，恳请使用本书的读者对书中错误及不妥之处予以批评指正。

编 者

目 录

编写说明

前言

第一部分

电路基础 1

第一章 电路的基本概念 2

第一节 电路和电路的模型 2

第二节 电路的基本物理量 3

第三节 电阻、电感和电容元件 6

第四节 独立电源元件 12

第五节 半导体器件 15

小结 31

习题一 32

第二章 电路的基本连接与 分析基础 34

第一节 电源串联和并联 34

第二节 电压源和电流源的等效互换 36

第三节 基尔霍夫定律 40

第四节 叠加原理与等效电源定理 45

第五节 受控源及其含受控源电路
的分析方法 51

小结 54

习题二 55

第三章 正弦交流电路 59

第一节 正弦量的三要素 59

第二节 正弦量的相量表示法 63

第三节 电阻、电感与电容元件上电压
与电流关系的相量形式 69

第四节 简单正弦交流电路的计算 73

第五节 交流电路的功率 84

第六节 RLC 电路中的谐振 90

小结 94

习题三 95

第四章 三相交流电路 98

第一节 三相交流电源 98

第二节 三相对称电路 100

第三节 三相不对称电路 104

第四节 三相电路的功率 107

小结 108

习题四 109

第五章 一阶电路的瞬态分析 111

第一节 换路定律 111

第二节 RC 电路瞬态分析 113

第三节 RL 电路瞬态分析 116

小结 117

习题五 118

第二部分

电子技术基础 121

第六章 分立元器件基本电路 122

第一节 共射极放大电路 122

第二节 放大电路的分析 123

第三节 微变等效电路分析法 127

第四节 静态工作点稳定电路 132

第五节 多级放大电路 135

第六节 共集电极放大电路 138

第七节 分立元件组成的基本门电路 140

小结 144

习题六 145

第七章 数字集成电路 148

第一节 概述 148

第二节 逻辑代数基础 150

第三节 编码器和译码器 154

第四节 双稳态触发器 157

第五节 时序逻辑电路 163

小结 171

习题七 171

第八章 集成运算放大器 174

第一节 集成运算放大器的组成 174

第二节 集成运算放大器的基本特性 177

第三节 放大电路中的负反馈 180

第四节 集成运算放大器的应用	184	小结	271
小结	189	习题十二	272
习题八	190	第十三章 电气控制技术	274
第九章 正弦波振荡电路	193	第一节 常用低压电器	274
第一节 自激振荡	193	第二节 三相异步电动机继电-接触 控制电路	284
第二节 LC 正弦波振荡器	195	第三节 单相异步电动机的起动、保 护、控制电路	288
第三节 RC 正弦波振荡器	199	第四节 可编程序控制器	292
小结	201	第五节 异步电动机的电子控制	332
习题九	202	小结	337
第十章 模拟量和数字量的转换	204	习题十三	338
第一节 数/模转换器 (D/A 转换 器)	204	第十四章 实用电工知识	339
第二节 模/数转换器 (A/D 转换 器)	208	第一节 电工测量	339
小结	213	第二节 安全用电	347
习题十	213	第三节 电工识图	351
第十一章 功率电子电路	215	小结	360
第一节 低频功率放大电路	215	习题十四	361
第二节 直流稳压电源	220	附录	362
第三节 功率半导体器件	228	附录 A 常用电气符号	362
第四节 变流电路	230	附录 B FX ₂ 系列可编程序控制器 的基本指令	369
小结	238	附录 C MCS—51 系列单片机的特 征	371
习题十一	239	附录 D 几种常用的 MCS—51 系 列单片机的特征	371
第三部分		部分习题参考答案	373
电动机及其控制技术	241	参考文献	377
第十二章 变压器与异步电动机	242		
第一节 磁路和变压器	242		
第二节 三相异步电动机	254		
第三节 单相异步电动机	268		

第一部分

电路基础

电路分析基础 第一章

1

第一章 电路的基本概念

第二章 电路的基本连接与分析基础

第三章 正弦交流电路

第四章 三相交流电路

第五章 一阶电路的瞬态分析



图 1-1-1

第一章 电路的基本概念

电工电子技术的应用离不开有关电路知识。本章主要介绍电路的基本概念和一些常用的电路元件,其中包括电阻、电感和电容元件、独立电源元件、半导体器件等,介绍它们的基本特性和电路模型,为学习电路分析打下基础。

第一节 电路和电路的模型

一、电路

在现代社会中,电工电子技术的应用已经非常普及,特别是空调与制冷行业,大到中央空调机组、冰柜和冷库,小到家用冰箱,从电动机的起动到控制和保护,都离不开电工与电子技术的应用。

为了实现某种应用目的,就需要将一些元器件按一定的方式互相连接,组成电路。例如冰箱中的照明电路是由电源、小灯泡和控制开关用导线互相连接而成的。

因此,电路是由各种元器件为实现某种应用目的、按一定方式连接而成的整体,其特征是提供了电流流动的通道。复杂的电路亦可称之为网络。由于电的应用非常广泛,所以电路的形式也是多种多样、千变万化的,有长达数千公里的电力线路,也有小到只有几微米的集成电路。

根据电路的作用,电路可分为两类:

一类是用于实现电能的传输和转换。例如照明电路将电能由电源经导线传输到照明灯,照明灯将电能转换为光能;动力电路将电能由电源经导线传输到电动机,电动机将电能转换为机械能。将电能转换为其他形式的能量的元器件或设备统称为负载,因此,电路都是由电源、负载和导线等三个基本部分组成。此类电路的电压较高,电流和功率较大,习惯称之为“强电”电路。

另一类是用于进行电信号的传递和处理。通过电路把施加的信号(称为激励)转换成所需要的输出信号(称为响应)。例如收音机中的调谐电路,它可以从发射台发出的不同信号中选出所需要的信号。此类电路的电压较低,电流和功率较小,习惯称之为“弱电”电路。

根据电源提供的电流种类不同,电路还可以分为直流电路和交流电路两种。

综上所述,电路主要由电源、负载和传输环节等三部分组成(图 1-1);电源是提供电能或信号的设备,负载是消耗电能或输出信号的设备;电源与负载之间通过传输环节相连接。为了保证电路按不同的需要完成工作,在电路中还需加入适当的控制元件,如开关、主令控制器等。

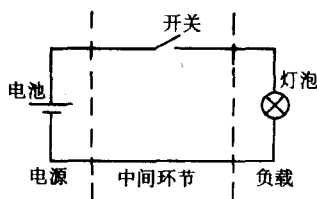


图 1-1 电路的组成

二、电路元件

用于组成电路的电工、电子设备或元器件统称为实际电路元件，简称为实际元件。用实际元件组成的电路称为实际电路。实际元件种类很多，各具有其特性和用途。

一个实际元件往往呈现出多种物理性质，例如一个用导线绕成的线圈，当有电流通过时不仅产生磁通，形成磁场，而且还会消耗电能。可以看出，线圈不仅具有电感性质，而且具有电阻性质。不仅如此，线圈的匝与匝之间还存在分布电容，具有电容性质。因此直接分析由实际元件组成的电路是比较复杂的。为了便于分析和数学描述，常常在一定条件下对实际元件理想化，即从实际元件中抽出一些理想化的电路元件。如用来表征将电能转换成热能现象的叫电阻器，用来表征电场储能现象的叫电容器，用来表征磁场储能现象的叫电感器等。

一种实际元件在一定条件下，常忽略其他次要现象只考虑起主要作用的电磁现象，也就是用理想元件来替代实际元件的模型，这种模型称之为电路元件，又称理想电路元件。它实际是一种数学模型。例如上面所述的线圈，如果忽略其电阻和电容性质，就成为只具有电感性质的元件，称为理想电感元件。

三、电路模型

如图 1-2 所示，用一个或几个理想电路元件构成的模型去模拟一个实际电路，模型中出现的电磁现象与实际电路中的电磁现象十分接近，这个由理想电路元件组成的电路称为电路模型。也就是说，由理想电路元件组成的电路模型与实际电路是等效的，因此又称为等效电路。

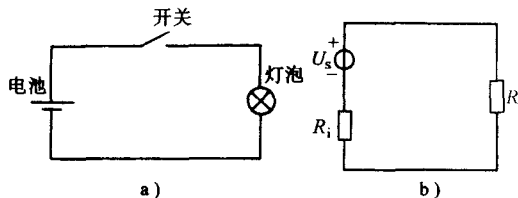


图 1-2 电路模型

a) 实际电路 b) 电路模型

建立电路模型给实际电路的分析带来了很大的方便，是研究电路问题的常用方法。

思考与练习

1. 电路由哪几部分组成？
2. 电路模型与实际电路的区别？

第二节 电路的基本物理量

电路分析是在已知电路的结构及元件参数的情况下，求解电路中电流、电压及功率的分布。电路的物理量就是指电路中的电流、电压和功率。

一、电流、电压及其参考方向

1. 电流及其参考方向

电路中带电粒子在电源作用下作有规则移动形成电流。金属导体中的带电粒子是自由电子，半导体中的带电粒子是自由电子和空穴，电解液中的带电粒子是正、负离子，因此电流既可以是负电荷，也可以是正电荷或者两者兼有的定向运动的结果。习惯上规定正电荷移动的方向为电流的实际方向。为了衡量电流的大小，把单位时间内通过导体横截面的电荷量定义为电流强度。或者说，该电荷〔量〕对时间的变化率称为电流强度，简称为电流。即

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

在国际单位制 (SI) 中, 电荷 q 的单位为库仑 (C), 时间 t 的单位为秒 (s), 电流 i 的单位为安培, 简称安 (A)。

$$1\text{A} = 1\text{C}/1\text{s}$$

当电流较小时, 可用毫安 (mA) 或微安 (μA) 做单位。

其中

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

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

电流是一个既有大小又有方向的物理量。如果电流的大小和方向都不随时间的变化, 则称为直流电流 (Direct Current, 简称为 DC), 用大写字母 I 表示。

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

式中, q 是指在 t 时间内通过导体横截面 S 的电荷量。

如果电流的大小和方向都随时间变化, 则称为交流电流 (Alternating Current, 简称为 AC), 用小写字母 i 表示。

电流的参考方向是指在进行电路分析计算时, 电流的实际方向有时难以确定, 为了方便计算, 可以预先假定一个电流方向, 这个参考方向也为电流的正方向, 在电路图中用箭头标出。我们习惯上把正电荷运动的方向作为电流实际方向。如果电流的实际方向与参考方向一致, 计算电流为正值; 如果两者相反, 计算电流为负值。这样, 就可以利用电流的正负值结合参考方向来表明电流的实际方向。

图 1-3a 中, $i > 0$ 时, 电流实际方向与参考方向一致。

图 1-3b 中, $i < 0$ 时, 电流实际方向与参考方向相反。

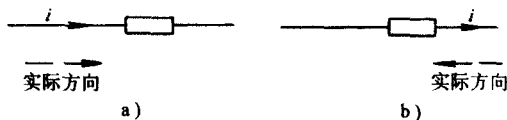


图 1-3 电流的参考方向与实际方向

a) $i > 0$ 时 b) $i < 0$ 时

因此, 在电路分析时对电流参考方向的假定是必不可少的, 是一个很重要而又容易被初学者忽略的问题, 我们必须养成在进行电路分析时首先在电路中标出电流参考方向的良好习惯。

2. 电压及其参考方向

图 1-4 是一个由电池和灯泡、开关组成的简单电路。电池具有电动势, 电动势是衡量电源力对电荷做功的能力, 电动势在数值上等于电源力在电源内部把单位正电荷从负极移到正极所做的功, 单位为伏特, 简称伏 (V)。图 1-4 电路中, 在电动势 E 的作用下, 灯泡两端得到电压 U , 并有电流 I 流过。 a 点与 b 点间的电压在数值上等于电场力驱使单位正电荷从 a 点移至 b 点所做的功。 a 、 b 两点间的电压定义为: 单位正电荷由 a 点经任意路径到 b 点时该电荷所失去的能量 (或该段电路所吸收的能量), 即

$$u = \frac{dw}{dq} \quad (1-3)$$

a 、 b 两点之间的电压 U_{ab} 也就是 a 、 b 两点之间的电位差 ($V_a - V_b$), 即

$$U_{ab} = V_a - V_b \quad (1-4)$$

电压用 u (交流电压) 或 U (直流电压) 表示, 在国际单位制 (SI) 中, 电压单位为伏特, 简称伏 (V)。

根据电位差的概念可得 $U_{ab} = -U_{ba}$

电压是由于两点间电位的高低差别而形成的, 因此, 电压也称电位差, 它的正方向是从高电位指向低电位的, 也就是电位降低的方向。而电动势的正方向则是从电源的低电位指向高电位, 是电位升高的方向。图 1-4 所示电路中, 当忽略电池的内阻和导线的电阻时, a 点和 b 点间的电压 U 和电池的电动势 E 相等, 即 $U = E$ 。

在进行电路分析时, 必须先假定电流的参考方向, 同样, 对于电压或电动势也必须事先假定参考方向 (也称参考极性)。电压参考方向采用 “+”、“-” 极性表示, 从 “+” 端指向 “-” 端。电动势参考方向则从 “-” 端指向 “+” 端。

3. 参考方向的关联与非关联

在分析电路时, 一段电路或一个元件上的电压的参考方向与电流的参考方向可以任意设定。但为了分析、运算方便, 电压与电流的参考方向尽量选取一致, 即设定的电流参考方向是从电压参考方向的 “+” 端流向 “-” 端。

电压与电流的参考方向一致时, 称为关联参考方向或一致参考方向; 电压与电流的参考方向不一致时, 称为非关联参考方向或非一致参考方向。

例如图 1-4 中流过灯泡的电流参考方向假定从上到下, 灯泡两端的电压参考方向也假定从上到下, 两者关联。在采用关联参考方向时, 如果标出某个电路元件的电流 (电压) 参考方向, 则该元件的电压 (电流) 参考方向就随之关联地确定, 可以不再标出。

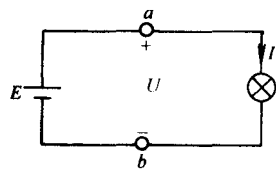


图 1-4 电流、电压的参考方向 (一个简单电路)

二、电路功率

电路功率简称为电功率或功率 (以下均用功率代替), 是电路分析中常用到的另一个物理量, 是指电能量对时间的变化率。因此在某个元件上, 当电压与电流取关联参考方向时, 电压为 u 、电流为 i , 则电功率

$$p = iu \quad (1-5)$$

当电压与电流取非关联参考方向时, 电压为 u 、电流为 i , 则电功率

$$p = -iu \quad (1-6)$$

在直流情况下

$$P = IU \quad \text{或} \quad P = -IU \quad (1-7)$$

在电压和电流方向关联时, 若 p (或 $p(t)$) > 0 时, 表示元件 (或该段电路) 吸收功率 (即消耗电能或吸收电能); 若 p (或 $p(t)$) < 0 时, 表示该元件输出功率 (即释放电能)。

在电压和电流方向非关联时, 若 p (或 $p(t)$) > 0 时, 表示元件 (或该段电路) 输出功率 (即释放电能); 若 p (或 $p(t)$) < 0 时, 表示该元件吸收功率 (即消耗电能或吸

收电能。

功率又可定义为：在一个二端元件或二端网络中所吸收（或产生）的功率为单位时间内该电路所吸收（或产生）的能量

$$p = \frac{dw}{dt}$$

二端元件或二端网络是指与外部只有二个端钮相联的元件或网络。

在国际单位制（SI）中，功率的单位是瓦特，简称瓦（W）。

习惯上对电源的端电压和流过电源的电流采用非关联参考方向。例如在图 1-4 中，按所示电流参考方向，电流从电池的“-”端经电源内部流向“+”端，此时电流的端电压 $U = E$ （忽略的内阻），乘积 IU （即 IE ）表示电源（电池）向外电路（灯泡）所提供（输出）的功率大小。

例 1-1 求图 1-5a、b 所示负载 N 所吸收的功率。

解 (a) 因为 u 、 i 关联，则

$$p = iu = (-2) \times 4\text{W} = -8\text{W}$$

-8W 功率，即负载 N 放出 8W 功率。

(b) 因为 u 、 i 非关联，则

$$p = -iu = -(-2) \times 4\text{W} = 8\text{W}$$

8W 功率，即负载 N 吸收 8W 功率。

例 1-2 在图 1-6 所示的电路中，已知负载 N 吸收功率 10W，负载两端端电压为 5V，求电流 I 。

解 因为 U 、 I 非关联，负载 N 吸收功率 10W，即 $P = -10\text{W}$

$$P = -IU$$

$$\text{则 } I = -P/U = -(-10)/5\text{A} = 2\text{A}$$

说明 I 与参考方向一致。

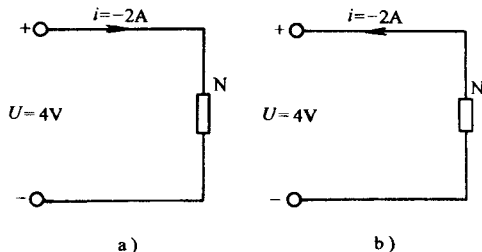


图 1-5 例 1-1 图

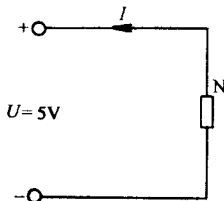


图 1-6 例 1-2 图

思考与练习

1. 在一个电路中，有两点 a 、 b ，若 $U_{ab} = -10\text{V}$ ，问 a 、 b 两点哪一点电位高？
2. 什么叫做关联电路和非关联电路？
3. 什么叫做参考方向？本节学了哪些参考方向？
4. 电压、电位的关系是什么？举例说明。

第三节 电阻、电感和电容元件

一、电阻元件

1. 电阻与电导的概念

电阻是电路中不可缺少的元件，它是一个理想元件，也就是说在不考虑其他电磁现象

的情况下, 仅剩其电阻性质的元件。

电阻的性质可分线性、非线性。在物理的电学中已讲过欧姆定律, 该定律研究的对象就是线性电阻元件, 具体内容如下: 流过线性电阻的电流与其两端的电压成正比, 即

$$\frac{u}{i} = R \quad (u、i \text{ 关联}) \quad (1-8)$$

$$-\frac{u}{i} = R \quad (u、i \text{ 非关联}) \quad (1-9)$$

在国际单位制 (SI) 中, 电阻 R 的单位为欧姆 (Ω)。

非线性电阻是指流过电阻的电流与其两端的电压是非线性关系。

导体的电阻不仅和导体的材质有关, 而且还和导体的尺寸有关。实验证明, 同一材料导体的电阻和导体的截面积成反比, 而和导体的长度成正比。也就是说, 导体的截面积越大, 电阻就愈小; 导体愈长, 电阻就愈大。

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (1-10)$$

式中, l 为导体长度 (m); S 为导线截面积 (m^2); ρ 为比例常数, 称为导体的电阻率 ($\Omega \cdot \text{m}$)。电阻率 ρ 是指在设定的温度下, 长 1m 截面为 1m^2 的导体的电阻值。

从表 1-1 中可以看出, 在这些常用的导电材料中, 除去银之外, 铜的电阻率最小, 导电性能最好, 铝导电性能次之。因此一般的电线、变压器线圈的心线用铝或铜制成。

表 1-1 材料的电阻率和电阻温度系数

用途	材料名称	电阻率 ρ (20℃) / $\Omega \cdot \text{m}$	平均电阻温度系数 α (0~100℃) (1/℃)
导电材料	碳	1.00×10^{-5}	-5.00×10^{-4}
	银	1.65×10^{-8}	3.60×10^{-3}
	铜	1.75×10^{-8}	4.00×10^{-3}
	铝	2.83×10^{-8}	4.00×10^{-3}
	低碳钢	1.30×10^{-7}	6.00×10^{-3}
电阻材料	锰铜	4.20×10^{-7}	5.00×10^{-6}
	锰白铜	4.40×10^{-7}	5.00×10^{-6}
	镍铬合金	1.00×10^{-6}	1.30×10^{-4}
	铝铬铁	1.20×10^{-6}	8.00×10^{-5}
	铂	1.06×10^{-7}	3.89×10^{-3}

注: 表 1-1 中给出的是近似值。这些数值随材料纯度和成分的不同而有所变化。表中碳的电阻温度系数前有负号, 表示碳的电阻随温度的升高而降低。

电阻率比较高的材料主要用来制造各种电阻元件。例如, 用于空调加热的电阻丝, 一般用镍铬合金; 常见的线绕电阻和金属膜电阻也多半是镍铬合金制造的; 碳可以制造电机的电刷、电弧炉的电极以及常见的碳膜电阻。

为了方便计算, 我们常常把电阻的倒数用电导 G 来表示, 即

$$G = \frac{1}{R} \quad (1-11)$$

在国际单位制 (SI) 中, 电导 G 的单位为西门子 (S)

从碳的电阻温度系数可知, 导电材料的电阻值不仅和材质以及材料的尺寸有关, 而且会受到环境条件的影响。

大量的实验证明, 各种导电材料的电阻值都和温度有关, 银、铜、铝等金属导体的电阻值随温度的升高而增大, 但碳的电阻值却随温度的上升而减小。

为了计算导电材料在不同温度下的电阻值, 我们把导体的温度每增高 1°C 时, 其电阻值增大的百分数叫做电阻的温度系数, 用符号 α 表示。

设: R_1 是温度为 t_1 时的导体电阻, R_2 是温度为 t_2 时的导体电阻, α 是导体材料的电阻的温度系数。当温度变化 1°C 时, 电阻的变化量是 αR_1 , 现在温度变化了 $(t_2 - t_1)$, 所以电阻的变化量是 $\alpha R_1 (t_2 - t_1)$ 。

$$R_2 = R_1 + \alpha R_1 (t_2 - t_1) = R_1 [1 + \alpha (t_2 - t_1)] \quad (1-12)$$

在空调制冷专业中, 常用的热电偶、电阻丝等都是利用电阻是温度的函数这个特性, 也就是说, 导体材料的电阻值是随温度而变化的。

例 1-3 发电机的允许温度为 105°C , 为了保证发电机安全运行, 在发电机内部常常装有铂丝制成的电阻温度计, 在 20°C 时测得它的电阻是 50.5Ω , 在发电机运行后, 测得电阻是 61.9Ω , 问这时发电机的温度是多少?

解 从表 3-1 查得铂的平均电阻温度系数 $\alpha = 0.00389 \text{ } 1/^\circ\text{C}$ 。

根据题意将已知条件代入式 (1-12)

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

$$\text{则有} \quad 61.9^\circ\text{C} = 50.5 [1 + 0.00389 \times (t_2 - 20)]^\circ\text{C}$$

$$(61.5 - 50.5)^\circ\text{C} = 0.00389 \times 50.5 \times (t_2 - 20)^\circ\text{C}$$

$$(t_2 - 20)^\circ\text{C} = 11.4/0.196^\circ\text{C}$$

$$t_2 = (20 + 11.4/0.196)^\circ\text{C} = 78.16^\circ\text{C}$$

发电机此时的温度为 78.16°C 。由于发电机的允许温度为 105°C , 所以发电机可以安全运行。

2. 电阻的伏安特性

根据特性方程

$$u = Ri \quad (u, i \text{ 关联}) \quad (1-13)$$

$$u = -Ri \quad (u, i \text{ 非关联}) \quad (1-14)$$

或

$$i = Gu \quad (u, i \text{ 关联}) \quad (1-15)$$

$$i = -Gu \quad (u, i \text{ 非关联}) \quad (1-16)$$

可以把电阻两端的电压与电流的关系标在坐标平面上, 用一条曲线 (直线) 表示其关系, 这条曲线 (直线) 就称为电阻的伏安特性曲线。

由线性电阻的伏安特性曲线图 1-7 可以看出它是一条过原点的直线。一般的电阻元件, 均为线性电阻元件。