



中等职业教育国家规划教材
全国中等职业教育教材审定委员会审定

电工电子技术及应用

(机电技术应用专业)

主编 杜德昌 许传清



高等教育出版社

中等职业教育国家规划教材
全国中等职业教育教材审定委员会审定

电工电子技术及应用

(机电技术应用专业)

主 编 杜德昌 许传清
责任主审 罗圣国
审 稿 杨志坚 陈 力

高等教育出版社

内容提要

本书是根据教育部 2001 年颁发的《中等职业学校机电技术应用专业教学指导方案》中主干课程《电工电子技术及应用教学基本要求》，并参照有关行业的职业技能鉴定规范及中级技术工人等级标准而编写的中等职业教育国家规划教材。

全书共分十五章，包括电路、电机与变压器、电子技术和电力电子等四大部分。主要内容包括：电路的基本概念和基本定律、直流电路分析、正弦交流电路、三相交流电路、变压器、电动机及其控制、控制电机、常用半导体器件、放大电路、直流电源、数字电路基础、组合逻辑电路、触发器和时序逻辑电路、脉冲信号的产生与整形、电力电子技术等。全书共安排了 16 个操作性较强的技能训练。

本书注意吸收了当前电工电子技术领域中的新知识、新技术、新工艺、新方法，力求深入浅出、简明扼要、通俗易懂、图文并茂。

本书可作为中等职业学校机电技术应用专业教材，也可作为相关行业岗位培训教材或自学用书。

图书在版编目(CIP)数据

电工电子技术及应用/杜德昌,许传清主编. —北京:
高等教育出版社,2002
中等职业学校机电技术应用专业教材
ISBN 7-04-010927-1

I. 电... II. ①杜...②许... III. ①电工技术-专
业学校-教材②电子技术-专业学校-教材 IV. TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 036956 号

电工电子技术及应用
杜德昌 许传清 主编

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市东城区沙滩后街 55 号
邮政编码 100009
传 真 010-64014048

购书热线 010-64054588
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>

经 销 新华书店北京发行所
印 刷 高等教育出版社印刷厂

开 本 787×1092 1/16
印 张 18.5
字 数 430 000

版 次 2002 年 7 月第 1 版
印 次 2002 年 7 月第 1 次印刷
定 价 22.50 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题，请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

中等职业教育国家规划教材出版说明

为了贯彻《中共中央国务院关于深化教育改革全面推进素质教育的决定》精神，落实《面向21世纪教育振兴行动计划》中提出的职业教育课程改革和教材建设规划，根据教育部关于《中等职业教育国家规划教材申报、立项及管理意见》(教职成[2001]1号)的精神，我们组织力量对实现中等职业教育培养目标和保证基本教学规格起保障作用的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和80个重点建设专业主干课程的教材进行了规划和编写，从2001年秋季开学起，国家规划教材将陆续提供给各类中等职业学校选用。

国家规划教材是根据教育部最新颁布的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和80个重点建设专业主干课程的教学大纲(课程教学基本要求)编写，并经全国中等职业教育教材审定委员会审定。新教材全面贯彻素质教育思想，从社会发展对高素质劳动者和中初级专门人才需要的实际出发，注重对学生的创新精神和实践能力的培养。新教材在理论体系、组织结构和阐述方法等方面均作了一些新的尝试。新教材实行一纲多本，努力为教材选用提供比较和选择，满足不同学制、不同专业和不同办学条件的教学需要。

希望各地、各部门积极推广和选用国家规划教材，并在使用过程中，注意总结经验，及时提出修改意见和建议，使之不断完善和提高。

教育部职业教育与成人教育司

二〇〇一年十月

前 言

本书是根据教育部 2001 年颁发的《中等职业学校机电技术应用专业教学指导方案》中主干课程《电工电子技术及应用教学基本要求》，并参照有关行业的职业技能鉴定规范及中级技术工人等级标准编写的中等职业教育国家规划教材。

全书共分十五章，包括电路、电机与变压器、电子技术和电力电子等四大部分。主要内容包括：电路的基本概念和基本定律、直流电路分析、单相正弦交流电路、三相交流电路、变压器、电动机及其控制、控制电机、常用半导体器件、放大电路、直流电源、数字电路基础、组合逻辑电路、触发器和时序逻辑电路、脉冲信号的产生与整形、电力电子技术等。通过对本书的学习，使学生具备机电技术应用专业的高素质劳动者和中初级专门人才所必需的电工电子技术基本知识及基本技能，初步具有解决实际问题的能力，为学习专业知识和专业技能打下基础。

本书在编写过程中依据中等职业教育的培养目标，围绕机电技术应用行业的特点，紧扣教学大纲的内容和要求，注意吸收当前电工电子技术领域中的新知识、新技术、新工艺、新方法，例如增加了脉冲变压器、控制电机等内容，力求教材内容与时俱进。

由于本课程的实践性较强，在选取教材内容时，从岗位的实际需要出发，本着干什么学什么，最大限度地体现学以致用原则。对基础知识和基本理论以必需、够用、实用为度，在讲清基础知识、基本理论、元器件结构和工作原理的基础上，重点介绍在实际生产中的应用。全书共安排了 16 个技能训练，旨在进一步强化学生的实际操作能力，满足学生参加电工电子技术等级考核的需要。

为了提高学生对计算机、网络技术和虚拟技术的应用能力，在模拟电子技术实训中，本书采用了 Electronics Workbench 仿真软件实施教学，供有条件的学校选用。

本书每章后都有复习思考题和习题。

考虑到目前中等职业学校学生的实际，以及学校实行分层次教学和学分制的需要，尽量降低知识难度，对一些教学要求较高的教学内容打“*”，以供实行弹性学制教学或教学条件较好的学校选用。

本书在文字表述上力求简明扼要、通俗易懂；尽可能多的采用插图，以求直观形象，图文并茂，让学生容易理解和接受。

本教材适用于 3 年制机电技术应用及相关专业，也可作为职业岗位培训教材。总教学时数为 180 学时，各部分内容的课时分配建议如下：

教 学 内 容	课时分配建议		
	理论教学	实践教学	合计
第一章 电路的基本概念和基本定律	12	2	14
第二章 直流电路分析	8	2	10

续表

教 学 内 容	课时分配建议		
	理论教学	实践教学	合计
第三章 单相正弦交流电路	18	2	20
第四章 三相交流电路	6	2	8
第五章 变压器	6	2	8
第六章 电动机及其控制	14	4	18
第七章 控制电机	6		6
第八章 常用半导体器件	8	2	10
第九章 放大电路	12	6	18
第十章 直流电源	4		4
第十一章 数字电路基础	8	2	10
第十二章 组合逻辑电路	6	2	8
第十三章 触发器和时序逻辑电路	6	2	8
第十四章 脉冲信号的产生与整形	4	2	6
第十五章 电力电子技术	14	2	16
机 动			16
合 计	132	32	180

本书由山东省教学研究室杜德昌和南京工业职业技术学院许传清担任主编，各部分编写分工如下：第一、二章由许传清编写；第三、四章由杜德昌编写；第五、六、七、十五章由南京工业职业技术学院李金钟编写；第八章由济南市第九职业中专陈成瑞编写；第九、十章由山东省电子工业学校王云英编写；第十一、十二、十三、十四章由南京工业职业技术学院何焕山编写；由许传清统稿。

本书通过全国中等职业教育教材审定委员会审定，由北京科技大学罗圣国教授担任责任主审，北京科技大学杨志坚教授、北京科技大学陈力教授审稿。他们对书稿提出了很多宝贵意见，在此表示衷心感谢。

由于编者水平有限，错误之处在所难免，敬请读者批评指正。

编 者

2002年4月

目 录

第一章 电路的基本概念和基本定律	1
第一节 电路和电路模型	1
第二节 电路中的主要物理量	2
第三节 电阻元件	6
第四节 电容元件	8
第五节 电感元件	11
第六节 基尔霍夫定律	13
第七节 电压源与电流源	16
技能训练一 直流电流、直流电压 和电位的测量	20
复习思考题与习题	24
第二章 直流电路分析	26
第一节 电阻的连接及其等效变换	26
第二节 两种电源模型的等效变换	30
第三节 支路电流法	32
第四节 叠加定理	34
第五节 戴维宁定理	35
技能训练二 电阻的测量	38
复习思考题与习题	42
第三章 单相正弦交流电路	46
第一节 正弦交流电	46
第二节 纯电阻电路	50
第三节 纯电容电路	51
第四节 纯电感电路	54
第五节 RLC 串联电路	56
第六节 正弦交流电路的功率	59
技能训练三 日光灯电路	62
复习思考题与习题	64
第四章 三相交流电路	67
第一节 三相交流电概述	67
第二节 三相电源的连接	68
第三节 三相负载的连接	70
第四节 三相电路的计算	71
第五节 三相交流电路的功率	75
第六节 安全用电	78
技能训练四 三相照明电路	81
复习思考题与习题	83
第五章 变压器	85
第一节 变压器的用途、分类与 结构	85
第二节 单相变压器	88
第三节 单相变压器的运行特性	92
第四节 三相变压器	93
* 第五节 特种变压器	95
技能训练五 单相变压器的极性和 外特性的测定	97
复习思考题与习题	98
第六章 电动机及其控制	100
第一节 三相异步电动机	100
第二节 三相异步电动机的运行 特性	105
第三节 三相异步电动机的控制	106
第四节 三相异步电动机的使用、 维护及故障处理	110
第五节 单相异步电动机	112
* 第六节 三相同步电动机	116
第七节 直流电动机	117
第八节 直流电动机的起动、反转、 调速和制动	122
第九节 直流电动机的使用、维护 及故障处理	126
技能训练六 三相异步电动机的起 动和反转	128
技能训练七 直流电动机的起动、 反转与调速	129
复习思考题与习题	130

第七章 控制电机	132	复习思考题与习题	215
* 第一节 伺服电机	132	第十二章 组合逻辑电路	217
第二节 测速发电机	134	第一节 组合逻辑电路的分析与 设计	217
第三节 步进电机	136	第二节 常见的组合逻辑电路	220
* 第四节 直线电动机	138	第三节 显示器	226
复习思考题与习题	141	技能训练十三 组合逻辑电路	228
第八章 常用半导体器件	142	复习思考题与习题	229
第一节 半导体二极管	142	第十三章 触发器和时序逻辑电路	232
第二节 半导体三极管	145	第一节 触发器	232
第三节 MOS 型场效晶体管	149	第二节 集成时序逻辑电路	238
技能训练八 二极管和三极管的简 易检测	153	技能训练十四 集成 JK 触发器的 应用	241
复习思考题与习题	155	复习思考题与习题	242
第九章 放大电路	157	第十四章 脉冲信号的产生与整形	244
第一节 单级交流小信号放大电路	157	第一节 555 集成定时器	244
第二节 射极输出器	163	第二节 施密特触发器	247
第三节 多级放大电路	165	技能训练十五 555 集成定时器组 成的矩形波发生器	249
第四节 放大电路中的负反馈	167	复习思考题与习题	250
第五节 集成运算放大器	173	第十五章 电力电子技术	253
技能训练九 单管放大电路	179	第一节 晶闸管	253
技能训练十 负反馈放大器	184	第二节 单相可控整流电路	257
技能训练十一 集成运算放大器 应用电路	186	第三节 晶闸管触发电路	263
复习思考题与习题	187	第四节 全控型电力电子器件	265
第十章 直流电源	190	* 第五节 直流斩波电路	270
第一节 整流电路	190	第六节 交流调压电路	273
第二节 滤波电路	192	第七节 交流变频电路	277
第三节 稳压管与稳压电路	194	* 第八节 电力电子技术简介	279
复习思考题与习题	198	技能训练十六 单相半波可控整流 电路	280
第十一章 数字电路基础	200	复习思考题与习题	282
第一节 数字电路概述	200	参考文献	284
第二节 基本逻辑门电路	204		
第三节 复合逻辑门电路	207		
第四节 集成与非门电路	210		
技能训练十二 集成与非门电路的测试及其应 用	213		

第一章 电路的基本概念和基本定律

本章介绍电路的组成和作用、电路模型、电路的基本物理量、基本元件和基本定律。

第一节 电路和电路模型

一、电路的组成和功能

电路也叫网络，是电流通过的路径。电路一般由电源、负载、连接导线和控制装置四个部分组成。电源是提供电能的设备，例如电池、发电机等，它们把其他形式的能转换为电能；负载是取用电能的设备，例如白炽灯、电炉、电动机等，它们把电能转换为其他形式的能；连接导线的作用是传输电能；控制装置的作用则是接通或断开电路，或保护电路不被损坏等，例如开关和熔断器。

电路有两个主要功能，一是传输和转换电能，例如照明电路；二是加工和处理信号，例如计算机电路。

二、电路模型

组成电路的各种电气设备和器件的种类繁多，其中所发生的电磁现象也很复杂。因此，对电路进行分析和计算时，很难把这些实际部件一一画出，或把所有的电磁现象一一描绘出，而是用一些简单的但却能够表征它们主要电磁性能的理想元件代替。这样，任何实际电路都可以表示为理想元件的组合。

以下以白炽灯和干电池为例说明理想元件的概念：白炽灯是利用电流的热效应制成的，但是当电流通过时，灯丝不仅呈现电流的热效应，还呈现电流的磁效应。不过，这种磁效应是极其微弱的，完全可以忽略不计。因此，可以把它看作一个理想电阻器，在电路图中用电阻代替。

干电池是电源，但在输送电能的同时也要发热，这说明它内部也有电阻在消耗电能，通常把这种电源自身所具有的电阻称为内阻。但是，由于干电池的内阻和所接负载的电阻相比非常小，它所消耗的能量完全可以忽略不计，这样，就可以把干电池看作一个没有内阻的理想电源。

综上所述，在一定条件下，任何实际电气器件都可以用理想元件代替。

由理想元件构成的电路称为电路模型。今后我们所研究的电路都是指电路模型。

一般的理想元件都有两个与外部电路相连接的端钮，故称为二端元件，例如电阻和干电池。也有的理想元件具有三个、四个或多个与外部相连接的端钮，分别称为三端元件、四端元件和多端元件。例如晶体三极管、理想变压器和运算放大器，它们分别属于三端元件、四端元件和多端元件。

各种电气元件都可以用图形符号表示，国家标准局于 1985 年颁布的《电气图用图形符号》(GB/T4728.1—1985)对此作了具体规定。

图 1-1a、b 和 c 分别为电阻(二端元件)、晶体管(三端元件)和理想变压器(四端元件)的图形符号。没有说明具体性质的二端元件，通常用方框表示，它可以代表任意一个元件，如图 1-1d 所示。

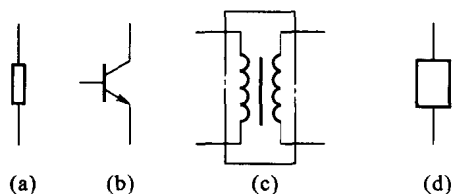


图 1-1 理想元件

第二节 电路中的主要物理量

电路中的主要物理量包括电流、电压、电动势、电位和电功率。

一、电流

1. 电流

带电质点有规则的运动形成电流。在不同的导电材料中，带电质点也不同。在金属导体中，能够自由运动的是带负电的电子，它们在电场力的作用下，逆着电场方向运动形成电流；在电离了的气体或电解液中，正、负离子分别向着两个相反的方向运动形成电流。

电流的大小可定义为单位时间内通过导体横截面的总电荷量，记作

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

在国际单位制(简称 SI)中，电流的基本单位是安[培]，符号为 A。

实际应用中常用微安(μA , $1\mu\text{A} = 10^{-6}\text{A}$)、毫安(mA , $1\text{mA} = 10^{-3}\text{A}$)等较小单位。

由以上分析可知，正、负两种电荷的运动都能形成电流，但规定正电荷运动的方向为电流的方向。例如在图 1-2 所示的导体中，负电荷由 b 通过截面向 a 移动，电流的方向则规定为由 a 到 b。

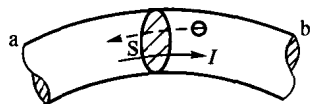


图 1-2 电流的实际方向

2. 电流的参考方向

从图 1-2 中可以方便地判断出电流的实际方向。对于较复杂的电路，电流的实际方向则很难确定，而且在某些电路中，电流方向还是不断变化的。为此引入参考方向的概念，参考方向是一种假定的方向，可以任意指定。对电路进行分析计算时，即以此假定的方向为依据。当然，参考方向不一定就是电流的实际方向。实际方向必须根据计算结果判断：若得数为正，说明参考方向和实际方向一致；若得数为负，则说明参考方向和实际方向相反。

在电路图中，参考方向用实线箭头表示。

对电路进行分析计算时，必须在电路图中标明电流的参考方向，否则讨论电流的正、负毫无意义。今后除非特别说明，电路图中标出的电流方向都是参考方向。

还需说明，电路有直流和交流之分。在直流电路中，电流的大小和方向恒定，不随时间变化，叫恒定电流，简称直流(简写作 dc 或 DC)。直流电流用大写英文字母 I 表示。在交流电路中，电流的大小和方向都随时间变化，叫交变电流，简称交流(简写作 ac 或 AC)。交流电流用

小写英文字母 i 表示。

本章只讨论直流电路。

例 1-1 二端元件中电流的参考方向如图 1-3 所示，试说明其实际方向。

解 图 1-3a 中电流的参考方向由 a 到 b，且大于零，说明其实际方向和参考方向相同，也从 a 到 b。图 1-3b 中电流的参考方向由 b 到 a，且小于零，说明其实际方向与参考方向相反，应由 a 到 b。

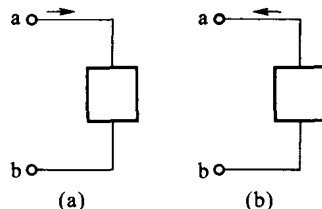


图 1-3 例 1-1 图

二、电压

1. 电压

由以上分析可知，定向运动的电荷形成电流。而在通常情况下，导体中电荷的运动是杂乱无章的，因而不能产生电流。要使导体中有电流通过，导体两端必须有电压的作用，正像自来水管中水的定向流动必须有重力或压力的作用一样。

以下用图 1-4 所示的实验电路来说明电压的含义。图中，导体 a、b 带有等量异号电荷，其中 a 带正电，b 带负电。用导线将 a、b 通过白炽灯连接起来，白炽灯会发光。这说明灯丝中有电流通过，即：导体中的负电荷在电场力的作用下由 b 移动到 a，形成了由 a 到 b 的电流。为了衡量电场力做功的能力，引进了电压这个物理量。其定义为：单位正电荷从 a 点移动到 b 点电场力所做的功，记为

$$U_{ab} = \frac{W}{q} \quad (1-2)$$

在国际单位制中，电压的基本单位是伏，符号为 V；也用千伏 ($1 \text{ kV} = 10^3 \text{ V}$)、毫伏 (mV) 和微伏 (μV) 等较大和较小单位。

电压总是指两点之间而言，因而用双下标表示。若正电荷从 A 点移动到 B 点，则规定电压的方向为从 A 到 B，记为 U_{AB} 。在电路图中，电压的方向用“+”和“-”两个符号表示，分别代表正电荷运动的起点和终点，读作正极和负极（因此也称电压的方向为电压的极性）。

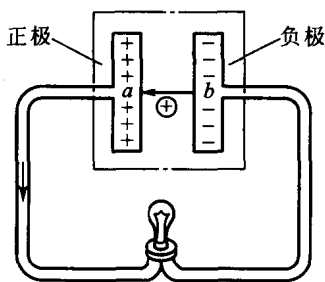


图 1-4 实验电路

2. 电压的参考方向

对电路进行分析计算时，也要规定电压的参考方向，并在电路图中标出。电压的参考方向也是任意指定的。同样，电压的参考方向不一定就是它的实际方向，实际方向要根据计算结果判断。今后，如无特别说明，电路图中所标电压的方向都是指参考方向。

例 1-2 图 1-5 所示二端元件上所标的电压方向为参考方向，试指出电压的实际方向。

解 图 1-5a 中，因 $U > 0$ ，说明电压的参考方向和实际方向一致，电压的实际方向为从 a 到 b；图 1-5b 中，因 $U > 0$ ，说明电压的参考方向和实际方向一致，电压的实际方向为从 b 到 a。图 1-5c 中，因 $U < 0$ ，说明电压的参考方向和实际方向不一致，电压的实际方向为从 b 到 a。

3. 关联与非关联参考方向

综上所述，在分析电路时，既要选择电流的参考方向，又要选择电压的参考方向，这两种参考方向原则上都可以任意假定。但是为了方便计算，对于负载(也叫外电路)习惯上把二者的参考方向选为一致，并称为关联参考方向；而对电源，则把电压和电流的参考方向选为不一致，并称为非关联参考方向，如图 1-6 所示。

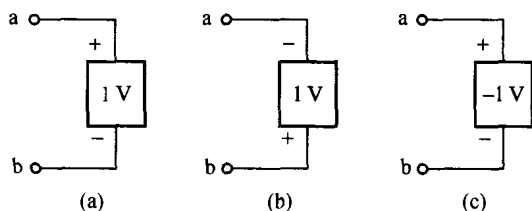


图 1-5 例 1-2 图

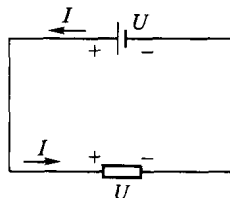


图 1-6 关联与非关联参考方向

三、电动势

再来观察图 1-4 所示的实验电路：随着正电荷不断向极板 b 移动，极板 a 上的正电荷和极板 b 上的负电荷都会越来越少(负电荷减少的原因是由于正、负电荷中和)。相应地，通过电路中的电流也会越来越小。显然，这样的电路没有实际意义。如果能使极板 a 上的正电荷在 a、b 之间循环运动，则能维持 a、b 间的电压，从而得到持续不断的电流。但是，要让移动到负极板上的正电荷逆着电场力的方向返回正极板，必须要有外力做功。这种外力也称为电源力，例如：干电池中的化学力，发电机中的电磁力等。

为了衡量电源力做功的能力，引入电动势的概念：在电源内部，电源力将单位正电荷从负极移动到正极所做的功叫做电源的电动势，记为

$$E = \frac{W}{q} \quad (1-3)$$

电动势的单位也是伏(V)。电动势只存在于电源内部，其方向与电压的方向相反，即由负极指向正极。在它的作用下，电源内部形成由负极到正极的电流，如图 1-4 所示。

四、电位

在电工技术中，大多数都使用电压的概念，例如：日光灯的电压是 220 V，电动机的电压是 380 V。而在电子线路中，经常要用到电位的概念。例如讨论半导体二极管和三极管的工作状态时，必须分析各电极的电位。

在电路中任选一个参考点，某一点到参考点的电压就叫做该点的电位。电位用 V 表示，例如电路中某点 a 的电位记作 V_a 。电位的单位也是伏(V)。

由电位的定义可知，电位实际上就是电压。不过电压是指任意两点之间而言，而电位则是指某一点与参考点之间而言。

参考点是可以任意选定的，一经选定，电路中其他各点的电位也就确定了。参考点不同，电路中同一点的电位也会随之改变。因此一个电路只能选一个参考点。

在工程中，通常选大地为参考点；在电子线路中，可以选择一条由多个元件汇集并与机壳相连的公共线为参考点，习惯上也称为地线。

参考点在电路图中用符号“⊥”表示。

通常规定参考点的电位为零，因此，参考点又叫零电位点。这样，电路中各点的电位都可以为正、为负、为零。若某点的电位比参考点高，则该点的电位为正值，反之则为负值。

引入电位的概念后，电路中任意两点之间的电压即为该两点之间的电位差。例如 a、b 之间电压可记为

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

根据 V_a 和 V_b 的大小，式(1-4)可以有三种不同情况：

- (1) $V_a > V_b$ ，表示 a 点电位高于 b 点电位；
- (2) $V_a < V_b$ ，表示 a 点电位低于 b 点电位；
- (3) $V_a = V_b$ ，表示 a、b 两点等电位。

引入电位的概念后，电压的方向可定义为电位降低的方向，电动势的方向则为电位升高的方向。

五、电功率

在图 1-4 所示的实验电路中，正电荷通过负载由高电位移动到低电位，形成了由 a 到 b 的电流。在这个过程中，电场力做功，把电能转化为热能。在电源内部，正电荷从低电位移动到高电位，形成了由 b 到 a 的电流，在这个过程中，电源力做功，把其他形式的能转换为电能。

实验证明，不同的电路在相同的时间内转换能量的多少也不同。通常用电功率衡量电路转换能量的速度。电功率简称功率，等于单位时间内电路吸收或释放的电能，用 P 表示，记为

$$P = \frac{W}{t} \quad (1-5)$$

将式(1-1)和式(1-2)代入上式得

$$P = UI \quad (1-6)$$

在国际单位制中，功率的基本单位是瓦，符号为 W；工程中常用千瓦(kW)作单位。

式(1-6)为功率的一般表达式。已知某段电路的电压和电流，就可以求出这段电路的功率。但是要判断该电路中的元件是消耗功率还是产生功率，就必须根据电流和电压的参考方向确定。为此定义如下：

(1) 采用关联参考方向时， $P = UI$ 表示元件消耗功率。若 $P > 0$ ，表示元件的确是消耗功率，为耗能元件。若 $P < 0$ ，则表示元件实际上是产生功率，为电源。

(2) 采用非关联参考方向时， $P = UI$ 表示元件产生功率。若 $P > 0$ ，表示元件的确是产生功率，为电源。若 $P < 0$ ，则表示元件实际上是消耗功率，为耗能元件。

例 1-3 在图 1-7 所示电路中，各电流、电压均为参考方向。若各电流都为 1A，试计算各元件的功率，并说明它们是耗能元件还是电源。

解 图 1-7a 中，元件的电流和电压为关联参考方向，所消耗的功率为

$$P = UI = 2 \times 1 \text{ W} = 2 \text{ W} > 0$$

元件为耗能元件。

图 1-7b 中，元件的电流和电压为非关联参考方向，所产生的功率为

$$P = UI = 2 \times 1 \text{ W} = 2 \text{ W} > 0$$

元件为电源。

图 1-7c 中, 元件的电流和电压为关联参考方向, 所消耗的功率为

$$P = UI = (-4) \times 1 \text{ W} = -4 \text{ W} < 0$$

元件实为电源。

图 1-7d 中, 元件的电流和电压为非关联参考方向, 所产生的功率为

$$P = UI = (-4) \times 1 \text{ W} = -4 \text{ W} < 0$$

元件实为耗能元件。

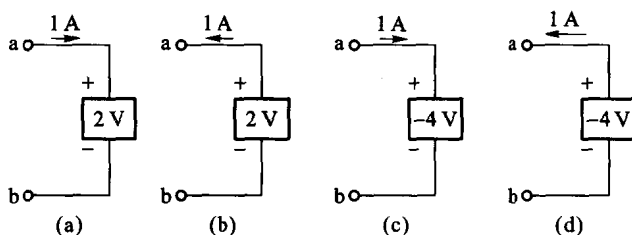


图 1-7 例 1-3 图

第三节 电阻元件

元件是构成电路的基本单元。电路中的主要元件有电阻器、电容器、电感器、电压源以及电流源。其中电阻, 电容和电感通常称为负载, 而电压源和电流源则为电源。

一、电阻器与电阻元件

电流通过导体时通常要受到阻力。利用导体对电流产生阻力的特性, 可以制成各种各样的电阻器。电阻器简称电阻, 是工程技术中应用最多的器件之一, 例如各种绕线电阻、碳膜电阻、金属膜电阻、玻璃电阻等。如前所述, 白炽灯、电炉和电烙铁等器件也可以看作电阻器。

电阻元件是各种电阻器、白炽灯、电炉和电烙铁等实际电气器件的理想化模型, 电阻元件也简称电阻。

一般情况下, 认为各种电阻器的阻值为常数, 与电压或电流无关, 称为线性电阻。线性电阻的阻值只与导体的材料和几何尺寸有关。非线性电阻的阻值不是常数, 随着电压或电流的变化而改变, 例如半导体二极管的电阻。

本书电路部分所研究的电阻都是线性电阻。

二、电阻元件的电压、电流关系

1. 欧姆定律

实验证明, 电阻的端电压与通过其中的电流成正比。在二者参考方向关联的情况下, 可表示为

$$U = RI \tag{1-7}$$

式中 R 即为元件的电阻。

以上这一结论是由德国物理学家欧姆提出的，称为欧姆定律。它表明，电流通过电阻时，沿着电流的方向产生电压降，其值为电流与电阻的乘积(参看图 1-8a)。

在国际单位制中，电阻的基本单位为欧(Ω)。

综上所述，电阻这一名词具有双重含义，既可以表示器件、元件，又可以表示元件的参数。

在电路分析中，还经常用电导表征元件对电流的导通能力。显然，元件的电阻大，电导则小；反之，电阻小，电导则大。因此，电导和电阻互为倒数。

电导用 G 表示，则

$$G = \frac{1}{R} \quad (1-8)$$

在国际单位制中，电导的单位是西，符号为 S。

引入电导的概念后，欧姆定律还可以表示为

$$I = GU \quad (1-9)$$

如果电阻元件上电压和电流的参考方向为非关联(如图 1-8b)所示，欧姆定律可表示为

$$\left. \begin{aligned} U &= -RI \\ I &= -GU \end{aligned} \right\} \quad (1-10)$$

例 1-4 在图 1-9 所示电路中，通过 $10\ \Omega$ 电阻的电流均为 $1\ \text{A}$ ，计算 U_{ab} 。若各电流均为 $-1\ \text{A}$ ，计算 U_{ab} 。

解 图 1-9a 中， U 、 I 为关联参考方向，则

$$U_{ab} = RI = 10 \times 1\ \text{V} = 10\ \text{V}$$

图 1-9b 中， U 、 I 为非关联参考方向，则

$$U_{ab} = -RI = -(10 \times 1)\ \text{V} = -10\ \text{V}$$

若各电流均为 $-1\ \text{A}$ ，图 1-9a 中

$$U_{ab} = RI = 10 \times (-1) = -10\ \text{V}$$

图 1-9b 中

$$U_{ab} = -RI = -[10 \times (-1)] = 10\ \text{V}$$

2. 伏安特性曲线

除了数学表达式，电阻的电压、电流关系还可以用图形表示。在直角坐标系中，取电压为横坐标、电流为纵坐标绘出电压与电流的关系曲线，这条曲线称为元件的伏安(V-A)特性曲线，也称为电压-电流关系曲线。

线性电阻的伏安特性曲线是一条通过坐标原点的直线，如图 1-10 所示。

非线性电阻的电压、电流关系不符合欧姆定律，其伏安特性曲线不再是一条直线。图 1-11 所示为半导体二极管承受正向电压时的伏安特性曲线。由图可见，二极管的端电压和电流的比值不是常数，与电压或电流的大小有关。

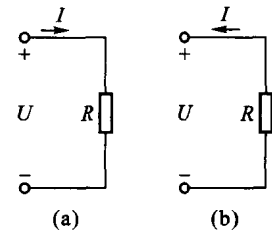


图 1-8 电阻元件的电压和电流

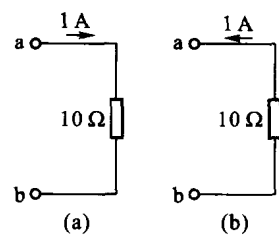


图 1-9 例 1-4 图

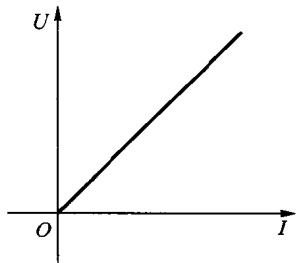


图 1-10 线性电阻的伏安特性曲线

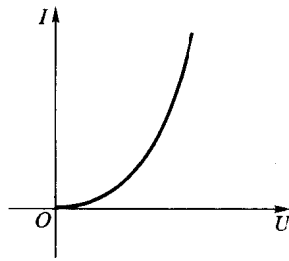


图 1-11 二极管的伏安特性曲线

三、电阻元件的功率

由式(1-6)和(1-7)可知,在关联参考方向下,电阻元件吸收的功率为

$$P = UI = RI^2 = \frac{U^2}{R} \quad (1-11)$$

由于 I^2 、 U^2 总为正值, R 为常数,因此 P 总大于零。这说明电阻元件总是在消耗能量,是一个耗能元件。

四、电阻器的选用

电阻器的种类很多,在实际工作中,要根据它们在电路中的不同作用和不同技术要求选用合适的类型。使用时还要注意电阻的额定值。

为了使电路安全、可靠、经济地运行,任何电气设备的电压、电流和功率都有一定的使用限额,若超过这个限额,就会损坏电气设备,或影响它的使用寿命。这个使用限额称为额定值。额定值主要包括额定电压、额定电流和额定功率等,一般都标注在设备的铭牌上。各种电气设备都应在额定状态下运行。

电阻器的额定值主要包括额定电阻、额定功率等。额定电阻是指电阻的设计值,即标称值;额定功率是指在规定的条件下,长期连续工作所允许承受的最大功率。

电阻器的类别、额定电阻和额定功率一般都用特定的记号(例如数字、字母或色标)标注在电阻器外表面上。实际应用时,要查阅有关的手册和产品目录。

第四节 电容元件

电容元件是实际电容器的理想化模型,也简称电容。本节主要介绍电容元件的基本概念、电容器的充电与放电以及电压和电流的关系。

一、电容器与电容元件

电容器是用来储存电荷的电器。

取两块金属导体,中间用绝缘材料隔开,就组成了一个简单电容器。图 1-12a 所示是一个平板电容器的示意图。其中两金属导体叫极板,上面各有一个与外电路相接的电极;两极板

之间的绝缘材料称为介质。

实际电容器的介质不可能完全绝缘，其中总会有电流通过并产生损耗。电容元件则是忽略损耗的实际电容器的理想化模型，其电路符号如图 1-12b 所示。

把电容器的两个极板分别接到电池的正极和负极，两个极板上就聚集起等量异性电荷。和电池正极相连的极板带正电，和负极相连的极板带负电，如图 1-13 所示。

通过实验可以证明，电容器所容纳的电荷量与端电压成正比，这一性质可表示为

$$q = CU \quad (1-12)$$

式中 q 为电容器每个极板上所储存的电荷量， U 为两个极板之间的电压，比值 C 称为电容器的容量，也简称电容。

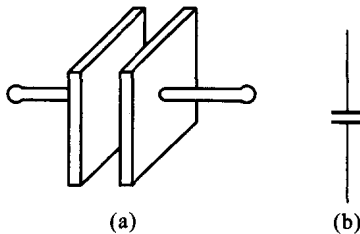


图 1-12 电容器外形与符号

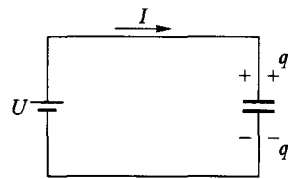


图 1-13 电容器中的电荷

在国际单位制中，电容的单位为法，符号为 F。实际电容器的容量都不大，常用微法(μF)和皮法(pF , $1\text{pF} = 10^{-12}\text{F}$)作单位。

综上所述，电容这个名词具有双重含义：可以指元件、器件的名称，也可以指元件的参数。

如果电容器的容量为常数，与端电压的大小无关，这样的电容称为线性电容。线性电容的容量只与电容器的尺寸、形状以及介质有关。本章只介绍线性电容。

二、电容器的充电和放电

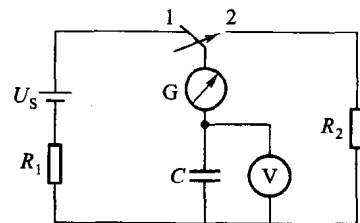
图 1-14 所示为电容器充、放电的实验电路。图中 R_1 和 R_2 分别为充、放电的限流电阻； V 为直流电压表，用以测量电容器的端电压； G 为检流计，用以检测通过电容器中的电流； U_S 为直流电源。

1. 充电过程

将开关合到 1 位，观察检流计和电压表的读数可见：

(1) 开关刚合到 1 位时，检流计的读数由零立刻变到很大，然后渐渐减小到零；

(2) 在电流由大变小的同时，电压表的读数由零逐渐增大；当电流为零时，电压表的读数最大，其值等于电源电压 U_S 。



在以上过程中，电容器的端电压增大，说明电容器从电源得到了电荷，称为充电。

图 1-14 电容器的充、放电电路