



工业和信息化高职高专
“十二五”规划教材立项项目

高等职业院校

机电类“十二五”规划教材

电工电子 技术

(第3版)

Electrical and
Electronic Technology (3rd Edition)

大量实训环节贯穿全书

10套试题库及详细解析

Flash 动画辅助教学



◎ 曾令琴 主编

◎ 高峰 王哲 副主编

 人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS


精品系列



工业和信息化高职高专
“十二五”规划教材立项项目

高等职业院校

机电类“十二五”规划教材

电工电子 技术

(第3版)

Electrical and
Electronic Technology (3rd Edition)



◎ 曾令琴 主编
◎ 高峰 王哲 副主编

人民邮电出版社
北京


精品系列

图书在版编目 (CIP) 数据

电工电子技术 / 曾令琴主编. — 3版. — 北京 : 人民邮电出版社, 2012. 8
高等职业院校机电类“十二五”规划教材
ISBN 978-7-115-24893-0

I. ①电… II. ①曾… III. ①电工技术—高等职业教
育—教材②电子技术—高等职业教育—教材 IV. ①
TM②TN

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第038246号

内 容 提 要

本书共分电工技术基础和电子技术基础两篇。其中电工技术基础篇包括电路分析部分、磁路变压器和电机及其控制电路部分；电子技术基础篇包括半导体基础知识，共射放大电路、共集电极放大电路、功率放大器、差分放大电路等基本放大电路，集成电路的线性和非线性应用，组合逻辑电路、时序逻辑电路。

全书内容体系新颖，内容先进，概念清楚，注重实际，行文流畅。不仅可作为高职高专、高级技工学校的教材，也可供相关工程技术人员和电工电子爱好者学习参考。

高等职业院校机电类“十二五”规划教材

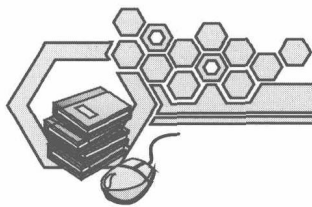
电工电子技术 (第3版)

-
- ◆ 主 编 曾令琴
副主编 高峰 王哲
责任编辑 赵慧君
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街14号
邮编 100061 电子邮件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京鑫正大印刷有限公司印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 18.5 2012年8月第3版
字数: 462千字 2012年8月北京第1次印刷

ISBN 978-7-115-24893-0

定价: 36.00元

读者服务热线: (010)67170985 印装质量热线: (010)67129223
反盗版热线: (010)67171154



第 3 版前言

《电工电子技术（第二版）》于 2006 年出版以来，受到教师 and 学生的普遍欢迎和认可。随着教学改革的深入发展以及对应用型人才培养的更高要求，在征询了许多同行教师对本课程教学内容改革要求的基础上，编者对教材进行了修订。

原来教材的实训环节比较单薄，只提出了要求而没有具体指导。根据教材使用者的反馈意见，对此进行了较大的改动，与第二版相比，本次修订主要有以下变化。

1. 根据维修中级电工考核标准，加入了实用性较强的电工、电子工具的使用方法、导线的连接训练、常用电工电子仪器、仪表的使用方法及训练环节，交流弧焊机的使用与维护，低压电器设备的拆装工艺训练，控制电路配盘实训等。

2. 对分立元件实验环节进行适当压缩，只保留了应用万用表对二极管、三极管好坏及极性判别、单管共射放大电路的研究这样一些实用性较强的传统经典实验项目，着重于对中规模集成电路逻辑功能的分析及测试实训、集成电路功能的扩展方法以及一种集成芯片的多种应用等实训环节。

3. 对教材中存在的极少处错误进行了修改，对少部分内容进行了补充说明。

4. 由于多数学校对本课程制定的学时数达不到教材所需，我们经过认真考虑，在不影响电子基础技术的学习和掌握的前提下，把第二版中的第 11 章存储器和第 12 章数/模和模/数转换电路作了删除。

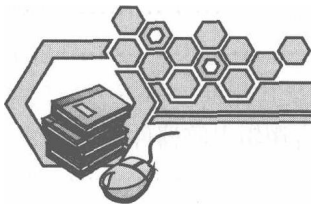
5. 对教材所提供的教学课件在原来基础上进行了认真的改进：语言上尽量言简意赅，增添部分 Flash 动画进一步加强对问题的剖析和理解，对原来课件中的错误进行了修正，与第二版课件相比，界面更加漂亮，内容更加适用教学和自学。

6. 为满足保证使用教材者解题训练要求，第 3 版教材仍对使用者提供 10 套试题库以及试题库详细解析，另外提供课本中的节后学习检测题解答和章后检测题解析等立体化配套。

第 3 版修订是由黄河水利职业技术学院自动化工程系完成的。其中由曾令琴担任主编，负责全书统稿，并参加了第 1 章、第 2 章、第 9 章的修订，刘玉宾参加了第 3 章、第 4 章的修订，张凯参加了第 8 章、第 10 章的修订，王磊参加了第 6 章、第 7 章的修订，贾春参加了第 5 章的修订。

为了保证用书质量，恳请使用本书的师生和技术同行们及时提出对本书的意见和建议，以利于进一步完善。在此仅向对本书提出修改中肯意见的所有人深表感谢！

编者
2011 年 1 月



第一篇 电工技术基础

| | |
|----------------------------------|---------------------------------|
| 第 1 章 电路分析基础 2 | 第 3 章 三相交流电路 60 |
| 1.1 电路分析基础知识 2 | 3.1 三相电源的连接方式 60 |
| 1.2 电气设备的额定值及 电路的工作状态 8 | 3.2 三相负载的连接方式 63 |
| 1.3 线性电路元件及其伏安 特性..... 11 | 3.3 三相电路的功率..... 69 |
| 1.4 电路定律及电路基本分析 方法..... 17 | 检测题 73 |
| 1.5 电路中的电位及其 计算..... 23 | 第 4 章 磁路与变压器 76 |
| 1.6 叠加定理..... 26 | 4.1 铁芯线圈、磁路 76 |
| 1.7 戴维南定理..... 27 | 4.2 变压器的基本结构和工作 原理..... 81 |
| 检测题 32 | 4.3 实用中的常见变压器 86 |
| 第 2 章 正弦交流电路 35 | 检测题 90 |
| 2.1 单相交流电路的基本 概念..... 35 | 第 5 章 异步电动机及其控制 92 |
| 2.2 正弦交流电的相量 表示法..... 39 | 5.1 异步电动机的基本 知识..... 92 |
| 2.3 单一参数的正弦交流 电路..... 42 | 5.2 异步电动机的电磁转矩和 机械特性..... 99 |
| 2.4 多参数组合的正弦交流 电路..... 49 | 5.3 三相异步电动机的 控制 101 |
| 检测题 57 | 5.4 常用低压控制电器 107 |
| | 5.5 基本电气控制线路 115 |
| | 5.6 可编程控制器与传感器 简介 118 |
| | 检测题..... 121 |

第二篇 电子技术基础

| | |
|----------------------------------|-------------------------------|
| 第 6 章 半导体及其常用器件 125 | 6.5 双极型三极管 143 |
| 6.1 半导体的基本知识 125 | 6.6 单极型三极管 148 |
| 6.2 半导体二极管 130 | 检测题..... 152 |
| 6.3 特殊二极管 134 | 第 7 章 基本放大电路 155 |
| 6.4 晶闸管 136 | 7.1 基本放大电路的概念及 |



| | | | |
|--------------------------|-----|-------------------------|-----|
| 工作原理 | 155 | 第9章 组合逻辑电路 | 204 |
| 7.2 基本放大电路的静态 | | 9.1 门电路 | 204 |
| 分析 | 161 | 9.2 逻辑代数及其化简 | 218 |
| 7.3 基本放大电路的动态 | | 9.3 常用的组合逻辑电路器件..... | 229 |
| 分析 | 165 | 检测题..... | 241 |
| 7.4 共集电极放大电路 | 170 | 第10章 触发器和时序逻辑 | |
| 7.5 功率放大器和差动放大 | | 电路 | 245 |
| 电路 | 173 | 10.1 触发器..... | 245 |
| 7.6 放大电路中的负反馈 | 176 | 10.2 计数器..... | 256 |
| 检测题..... | 184 | 10.3 寄存器..... | 268 |
| 第8章 集成运算放大器 | 188 | 10.4 555 定时电路 | 278 |
| 8.1 集成运算放大器 | 188 | 检测题..... | 284 |
| 8.2 集成运放的应用 | 193 | 参考文献 | 288 |
| 检测题..... | 201 | | |



第一篇

电工技术基础

在现代工业、农业、军事、科学技术领域及日常生活中，电工技术得到了极其广泛的应用，并且伴随着现代科学技术飞速发展的步伐，其向各专业的知识渗透也越来越深入。因此，传授发展最快的电工技术基础知识，其任务越来越繁重、内容也越来越广泛。很多为某些专业所特有的技术和理论已经上升为各专业的共有理论和共有技术。学习电工技术基础，就是为非电专业的工程师和技术人员提供必要的电工技术知识。

第 1 章

电路分析基础

直流电路是电路的最基本形式，直流电路中的一些定律与定理在其他应用电路中同样适用。掌握直流电路的分析方法，是研究其他电路的基础。

直流电路中的很多内容在高中物理学课程中已经讲过，但物理学分析问题的侧重点通常是对物理现象的剖析，作为学习自然科学的基础知识介绍给学生。电工电子技术课程和物理学研究问题的侧重点不同，电学在阐述问题时往往从工程应用的角度出发，侧重于分析和解决与生产实际相关的问题，是实用电工电子技术的基础知识。

本章是电工电子技术课程的重要理论基础，将从工程应用的角度对电路参量、电路变量，电气设备额定值及电路状态，欧姆定律和基尔霍夫定律等问题进一步深入阐述和探讨。要求学习者能够深刻领会，在理解的基础上掌握运用电路的分析方法，为后续各章的学习打下良好基础。

目的和要求 正确理解电路的基本概念及理想电路元件、电路模型在电路分析中的作用，熟悉电路的组成及其功能；了解电气设备额定值的概念，熟悉电路常见的 3 种状态及其特点；深刻理解参考方向在电路分析中的作用；掌握电路中电压和电位的不同点及测量方法；理解叠加定理及其适用范围；熟悉戴维南定理的解题思路。

1.1 电路分析基础知识

学习目标

了解导体、绝缘体和半导体的概念及物质结构的区别；熟悉电路的基本组成及各部分的作用；从工程应用的角度重新理解电压、电流、电功率等概念；理解电压、电流参考方向在电路分析中的作用；掌握测量电压、电流的技能及两种电表扩大量程的方法。

1. 导体、绝缘体和半导体

自然界的一切物质都是由分子或原子组成的。原子又由一个带正电的原子核和在



它周围高速旋转着的带有负电的电子组成。不同的原子，其原子核内部结构和它周围的电子数量也各不相同。物质原子最外层电子数量的多少，往往决定着该种物质的导电性能。按照物质导电性能的不同，自然界的物质大体可分为3大类。

① 导体：最外层电子数通常是1~3个，且距原子核较远，受原子核的束缚较小。由于外界影响，最外层电子获得一定能量后，极易挣脱原子核的束缚而游离到空间成为自由电子。因此，导体在常温下存在大量的自由电子，具有良好的导电能力。常用的导电材料有银、铜、铝、金等。

② 绝缘体：最外层电子数往往是6~8个，且距原子核较近，受原子核的束缚较强，其外层电子不易挣脱原子核的束缚，因而绝缘体在常温下具有极少的自由电子，导电能力很差或几乎不导电。常用的绝缘材料有橡胶、云母、陶瓷等。

③ 半导体：最外层电子数一般为4个，在常温下存在的自由电子数介于导体和绝缘体之间，因而在常温下半导体的导电能力也介于导体和绝缘体之间。虽然半导体的导电性能并没有导体的导电性能好，但在外界条件发生变化时，其导电能力将随之变化很大；当掺入某些杂质后，半导体的导电能力还会成千上万倍地增大。由于半导体本身的这些特殊性，使半导体材料的应用越来越广泛，常用的半导体材料有硅、锗、硒等。

由上述各类物质的导电性能可知，导体可使电流顺利通过，因此传输电流的导线芯都采用导电性能良好的铜、铝制成。绝缘体阻碍电流通过，所以导线外面通常包一层橡胶或塑料等绝缘材料，作为导线的保护，使用时比较安全。实际上导体和绝缘体之间并没有绝对的界限，而且条件变了还可以转化。例如，导体氧化后其导电性能变差，甚至不导电；而绝缘体所受温度升高或湿度增大时，绝缘性能也会变差；实用中常说的电气设备漏电现象，实质上就是绝缘性能下降所造成的。当绝缘体受潮或受到高温、高压时，还有可能完全失去绝缘能力而成为导体，这种现象称为绝缘击穿。

2. 电路的组成与功能

电流所经过的路径称为电路。把一些电气设备或元器件用导线连成的网络统称为电路，电流通过这些网络时，能够按照人们的实际需求，实现期望达到的功能。

(1) 电路的组成

电路通常由电源、负载和中间环节3部分组成。

电源：向电路提供电能的设备，如发电机、信号源、电池等。

负载：在电路中接收电能的设备，如电灯、电炉、空调、电动机等，负载是各类用电器的统称。

中间环节：把电源和负载连成通路的导线，控制电路通断的开关，监测和保护电路的控制设备及仪器仪表设施，统称为中间环节。

(2) 电路的功能

实际电路的种类繁多，形式和结构也各不相同，但根据其完成功能的不同通常可分为两种应用电路：一是电力系统的应用电路，一般由发电机、变压器、开关、电动机等元器件用导线连接而成，主要功能是对发电厂发出的电能进行传输、分配和转换等；二是电子技术的应用电路，常由电阻、电容、二极管、晶体管、集成芯片等元器件用导线连接而成，主要功能是实现对各种电信号、传输数据的存储和处理等。

电力系统的应用电路是用来传送电能的强电电路，特征是电源波形较单一且低频率、大容量；电子技术的应用电路是产生、处理或传送信号的弱电电路，其特征是信号波形复杂且



高频率、小容量。

3. 电路模型和电路元件

实际电路在结构、外形和材料等方面都具有各自的特点,是看得见、摸得着的非常具体的各种电气部件的组合,这些实际电气部件的电磁特性通常是多元的、复杂的。为了便于对实际电路的复杂电磁特性进行分析和计算,电学中往往对实际电路采用“模型化”处理:排除实际电路中与电路性态和功能影响不大的次要因素,抓住能体现实际电路性态和功能的主要电磁特性,用统一规定符号表示的理想电路元件及其组合来近似模拟实际电路中各元器件和设备器件端钮上的电磁特性,再根据这些器件的连接方式,用理想导线将模拟的理想电路元件进行并联或串联,就得到该电路的电路模型。

电路模型中的理想电路元件简称电路元件,其电磁特性单一、精确。例如,电阻元件只具有耗能的电特性,电感元件只具有储存磁场能量的电特性,电容元件只具有储存电场能量的电特性。以电路元件代替实际的电路器件,可以突出主要矛盾,使电路的分析与设计简单化。

一个实体电路元器件的电磁特性往往多元而复杂,仅用一个电路元件进行模拟常难以确切表述其真实电特性,这时就需要用几个电路元件串联、并联后的电路模型来模拟这一实体电路元器件的真实电特性。例如,工频交流电路中的电感线圈,可用电阻元件和电感元件的串联组合作为其电路模型,其中电阻元件反映了线圈通电发热的电特性,电感元件反映了线圈在交变电路中储存磁场的电特性。电路模型的构成和复杂程度,一般视实际应用电路分析精度的要求而定。

电路分析中常见的电路元件有电阻元件 R 、电感元件 L 、电容元件 C 、电压源 U_S 、电流源 I_S 等,当它们的参数均为常数时,称为线性元件,这些线性元件都有两个外接引出端子,统称为二端元件。理想二端元件分无源二端元件和有源二端元件两大类,其电路图符号及文字符号如图 1-1 所示。

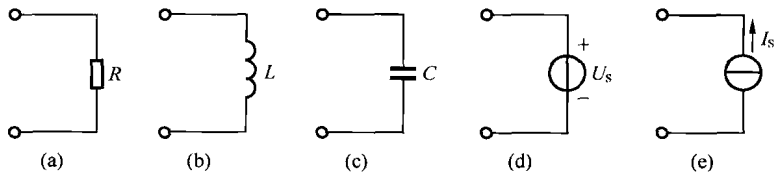


图 1-1 理想电路元件

图 1-1 (a) 所示为电阻元件。电阻元件是实际电路中耗能特性的抽象和反映。所谓耗能,指的是元件吸收电能转换为其他形式能量的过程是不可逆的。由于电阻元件只向电路吸收和消耗能量,不可能给出能量,因此电阻元件属于无源二端元件。

图 1-1 (b) 所示为电感元件。电感元件是实际电路中建立磁场、储存磁能电特性的抽象和反映。电感元件在电路中只进行能量交换而不耗能,也属于无源二端元件。

图 1-1 (c) 所示是电容元件。电容元件是实际电路中建立电场、储存电能电特性的抽象和反映。电容元件在电路中只进行能量交换而不耗能,同样属于无源二端元件。

图 1-1 (d) 所示为理想电压源,简称电压源。电压源是以电压方式对电路供电的实际电源的电路模型和抽象。电压源供出的电压值恒定,电压源对外供出的电流由它和与它相连的外电路共同决定,显然电压源属于有源二端元件。

图 1-1 (e) 所示为理想电流源,简称电流源。电流源是以电流方式对电路供电的实际电源的



电路模型和抽象。电流源对外电路供出的电流值恒定，电流源两端的电压由它和与它相连的外电路共同决定，与电压源相同，电流源也是有源二端元件。

图 1-2 (a) 所示为常用的手电筒电路，实际元件有干电池、小灯泡、开关和导线。图 1-2 (b) 所示为手电筒的电路模型：电阻 R 是小灯泡的电路抽象，理想电压源 U_S 和与其相串联的电阻 R_S 是干电池的电路抽象。此外，导线和开关 S 是中间环节。

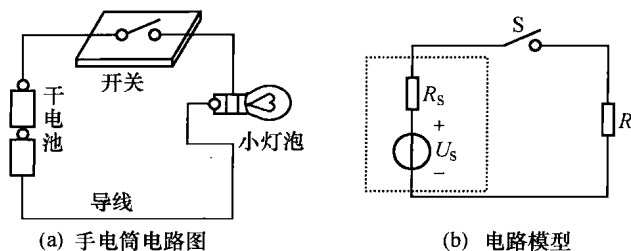


图 1-2 手电筒电路及其电路模型

必须指出的是，电路在进行上述模型化处理时是有条件的。前提是：实际电路中各部分的基本电磁现象可以分别研究，并且相应的电磁过程都集中在电路元件内部进行，这种电路称为集中参数元件的电路。

电路中电流和电压的出现，就其实质来说，均为电磁场传播的结果。电磁场传播的速度为 $3 \times 10^8 \text{ m/s}$ ，和光速相同。这样长的波长与任何实际的电路元器件尺寸相比，后者都是微不足道的。这种情况下电路上各点电场强度实际上处处相等，因此，流进电路元器件一端的电流必定等于从它另一端流出的电流，电路元器件两端的电压也可以准确测出，就元器件本身的功能而言，仿佛集中在电路的一点，表征其性质的参数也集中在这一点上，所以称为集中参数电路。只有集中参数元件的实际电路才可进行上述模型化处理。

在工程应用中，为了保证集中参数电路有效地描述实际电路，获得有意义的分析效果，要求实际电路的几何尺寸远小于工作电磁波的波长。集中参数电路实际上也是绝大多数教材的对象电路，本教材中所讨论的电路如无特殊说明，均为集中参数电路。

4. 电路中的电压、电流及其参考方向

无论是电能的传输和转换电路，还是信号的传递和变换电路，其中电源或信号源向电路输入的电压和电流起推动电路工作的作用，称为**激励**。激励在电路中各部分引起的电压和电流出称为**响应**。对一个实际电路进行分析的过程实质上就是分析激励和响应之间的关系。为此，我们必须对电路中的电压和电流有一个明确的认识。

电压和电流的概念在高中物理学中已经讲过，在学习电学的过程中，应注意从工程应用的角度重新对电压和电流加以理解。

(1) 电流

导体中存在大量的自由电子，当导体两端处在外电场作用下时，导体内的自由电子就会定向移动而形成电流。电流的大小通常用电流强度来描述，定义式为

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

其中电量 q 的单位是库仑 [C]，时间 t 的单位是秒 [s]，电流 i 的单位是安培 [A]。





电流的大小和方向均不随时间变化时为稳恒直流电,简称直流电。表达式可改写为

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

注意电学中各量的表示方法及正确书写:按照惯例,不随时间变动的恒定电量或参量用大写字母表示,如直流电压和电流分别用“U”和“I”表示;随时间变动的电量或参量通常用小写字母表示,如交变电压和电流分别用“u”和“i”表示。

电力系统中某些电流可高达几千安培,电子技术中的电流往往仅为千分之几安培,因此电流的单位还有毫安 [mA]、微安 [μA] 和纳安 [nA] 等,电流各单位之间的换算关系为

$$1\text{A} = 10^{-3}\text{kA} = 10^3\text{mA} = 10^6\mu\text{A} = 10^9\text{nA}$$

习惯上把正电荷定向移动的方向规定为电流的实际方向。

(2) 电压

电路中两点电位的差值称为电压,电压是产生电流的根本原因。这和水路中形成水流的原因是由于水路中存在水位差类似。电灯之所以被点燃,是因为在它两端加上了 220V 的电压。电压的大小显然反映了电路中电场力做功的本领,定义式表述为

$$u_{ab} = \frac{d\omega_{ab}}{dq} \quad (1-3)$$

式中,电功 ω 的单位是焦耳 [J];电量 q 的单位是库仑 [C];电压 u 的单位是伏特 [V]。

在大小和方向都不随时间变化的直流电路中,电压用“U”表示。电学中规定电压的实际方向由电位高的“+”端指向电位低的“-”端,即电位降低的方向。

强电领域中的电压通常用伏和千伏表示,弱电领域中的电压通常用伏和毫伏表示,各单位之间的换算关系为

$$1\text{V} = 10^{-3}\text{kV} = 10^3\text{mV}$$

(3) 电流、电压的参考方向

在分析和计算较为复杂的电路时,往往难以事先判断某些支路电流或元件端电压的实际方向和真实极性,造成我们在对电路列写方程式时,无法判断这些电压、电流在方程式中的正、负号。为解决这一难题,电学中通常采用参考方向的方法:在待分析的电路模型图中预先假定出各支路电流或各元件两端电压的方向和极性,称为参考方向。支路电流的参考方向一般用带箭头的线段标示,元件端电压的参考方向一般用“+”、“-”号标示(也可用带箭头线段标示,箭头方向应为从“+”到“-”的方向)。依据这些参考方向,可方便地确定出各支路电流及其元件端电压在方程式中的正、负号。

参考方向原则上可以任意假定。因此,参考方向不一定与各电流、电压的实际方向相符。但是,这并不影响我们求解电路的结果。依据电路图上标示的电压、电流参考方向,列写出相关电路方程式对电路进行分析、计算,如果计算结果为正值,表明选定的参考方向与其实际方向相同;若计算结果为负值,则表示电路图上假设的参考方向与其实际方向相反。这是计算电路的一条基本原则。

注意,只有在电压、电流参考方向选定之后,方程式中各量的正负取值才有意义。

例如,图 1-3 所示电路中,元件的电压、电流参考方向已经标出,若已知图 1-3 (a) 中电流 $I=5\text{A}$, $U=-10\text{V}$, 电流在参考方向下是正值,说明电流的实际方向与图中参考方向相同;电压是负值,表明电压的实际方向与图中参考方向相反。

电路分析中,规定电流沿电位降低方向取向时为关联参考方向,即电流与电压取向一致时



的参考方向为关联参考方向。这种约定比较自然、合理，如图 1-3 (a) 中电压、电流取关联参考方向，说明我们把图中元件视为负载，应用欧姆定律或功率计算式时，显然方程式各量前面均取正号，这样可减少出错的机会。图 1-3 (b) 中电压、电流的参考方向非关联，说明我们设立参考方向时把元件视为一个电源。

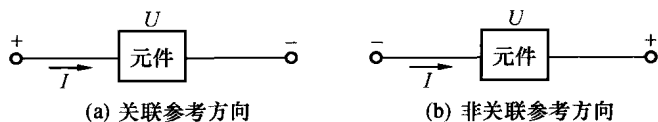


图 1-3 电压、电流参考方向

5. 电能、电功率和效率

(1) 电能

电流所具有的能量称为电能。电能可以用电表来测量，其国际单位是焦耳 [J]，常用的单位是度 [kW·h]，单位换算关系为

$$1\text{kW}\cdot\text{h}(\text{度}) = 3.6 \times 10^6 \text{J}(\text{焦})$$

电能转换为其他形式能量的过程实际上就是电流做功的过程，因此电能的多少可以用电功来度量。电功的计量公式为

$$W = UI t \quad (1-4)$$

式中，电压 U 的单位取伏特 [V]，电流 I 的单位取安培 [A]，时间 t 的单位取秒 [s] 时，电能（电功）的单位为焦耳 [J]；实用中，电度表是用“度”来表示的，因此电压 U 的单位应取千伏 [kV]，电流 I 的单位取安培 [A]，时间 t 的单位取小时 [h]。式 (1-4) 表明，在用电器两端加上电压，就会有电流通过用电器，通电时间越长，电能转换为其他形式的能量越多，电功也越大；若通电时间短，电能转换就少，电功也小。

(2) 电功率

在电工技术中，电流在单位时间内消耗的电能（或电流在单位时间里所做的功）称为电功率，用“ P ”表示，即

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

电功率的单位是瓦特 [W] 和千瓦 [kW]。各类用电器铭牌上标示的瓦特数就是表征用电器本身能量转换本领的参数。

(3) 效率

电路在转换和输送电能的过程中存在着各种损耗，因此输出的功率 P_2 总是要小于输入的电功率 P_1 。工程应用中，把输出功率与输入电功率比值的百分数称为效率；即

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \times 100\% = \frac{P_2}{P_2 + \Delta P} \times 100\% \quad (1-6)$$

【例 1.1】 已知 0.2s 内通过某一导体横截面的电荷是 0.4C，电流做功 1.2J，问通过导体的电流为多少？导体两端电压为多少？当导体两端的电压增加至 6V 时，求导体的电阻为多少。

【解】 由电流定义式可得

$$I = \frac{Q}{t} = \frac{0.4}{0.2} = 2\text{A}$$



导体两端电压由电功的公式 $W=UIt$ 可得

$$U = \frac{W}{It} = \frac{1.2}{2 \times 0.2} = 3\text{V}$$

导体的电阻并不随电压的增加而发生变化, 由欧姆定律可得

$$R = \frac{U}{I} = \frac{3}{2} = 1.5\Omega$$

【例 1.2】如果在图 1-4 (a) 中, $U=12\text{V}$, $I=-5\text{A}$; 在图 1-4 (b) 中, $U=12\text{V}$, $I=5\text{A}$, 问元件实际输出还是吸收功率? 各为多少?

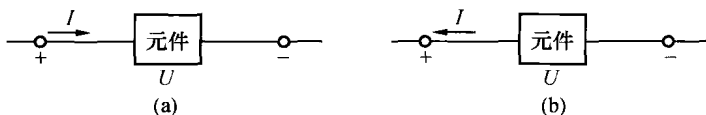


图 1-4 例 1.2 电路图

【解】图 1-4 (a): 电压与电流取关联参考方向, 因此

$$P = UI = 12 \times (-5) = -60\text{W}$$

电功率为负值, 说明元件实际向外输出功率。

图 1-4 (b): 电压与电流取非关联参考方向, 因此

$$P = -UI = -12 \times 5 = -60\text{W}$$

电功率为负值, 说明元件实际向外输出功率。

检验学习结果

1. 电路由哪几部分组成? 电路的功能如何?
2. 电路元件与实体电路元器件有何不同? 何谓电路模型?
3. 在电路中已经定义了电流、电压的实际方向, 为什么还要引入参考方向? 参考方向与实际方向有何区别和联系?

4. 在图 1-5 中, 5 个二端元件分别代表电源或负载。其中的 3 个元件上电流和电压的参考方向已标出, 在参考方向下通过测量得到: $I_1=-2\text{A}$, $I_2=6\text{A}$, $I_3=4\text{A}$, $U_1=80\text{V}$, $U_2=-120\text{V}$, $U_3=30\text{V}$ 。试判断哪些元件是电源? 哪些是负载?

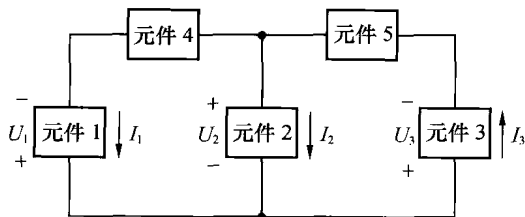


图 1-5 检验题 4 电路图

技能训练

学习用双路直流稳压电源、电压表、电流

表、电阻箱等构成直流电路的方法, 并学会测量电阻电路中的电压和电流; 学会使用数字万用表, 学会用万用表测量电阻。

1.2 电气设备的额定值及电路的工作状态

学习目标

理解电气设备额定值的概念; 熟悉电路的 3 种状态及其特点; 了解电源的外特性。



1. 电气设备的额定值

电气设备的额定值是根据设计、材料及制造工艺等因素,由制造厂家给出的设备各项性能指标和技术数据。按照额定值使用电气设备时,既安全可靠,又经济合理。例如,熔断器的额定电流通常取线路电流的1.25倍,而且做短路保护的熔断器必须安装在导线、电缆的进线端。

电气设备的额定电功率,是指用电器加额定电压时产生或吸收的电功率。电气设备的实际功率指用电器在实际电压下产生或吸收的电功率。铭牌数据上电气设备的额定电压和额定电流,均为电气设备长期、安全运行时的最高限值。任何电气设备和元件都有各自的额定电压和额定电流,对电阻性负载而言,其额定电流和额定电压的乘积就等于它的额定功率。例如,额定值为“220V、40W”的白炽灯,表示此灯两端加220V电压时,其电功率为40W;若灯两端实际电压为110V时,此灯上消耗的实际功率只有10W。

一般情况下,当实际电压等于额定电压时,实际功率才等于额定功率,此时用电器正常工作;当用电器上加的实际电压小于额定电压时,用电器上的实际功率小于额定功率,此时用电器不能正常工作;当用电器上加的实际电压大于额定电压时,实际功率将大于额定功率,用电器不但不能正常工作,而且有被烧坏的可能。

因此,只有当用电器两端的实际电压等于或稍小于它的额定电压时,用电器才能安全使用。

2. 电路的3种工作状态

电路的工作状态有3种:通路、开路和短路,如图1-6所示。

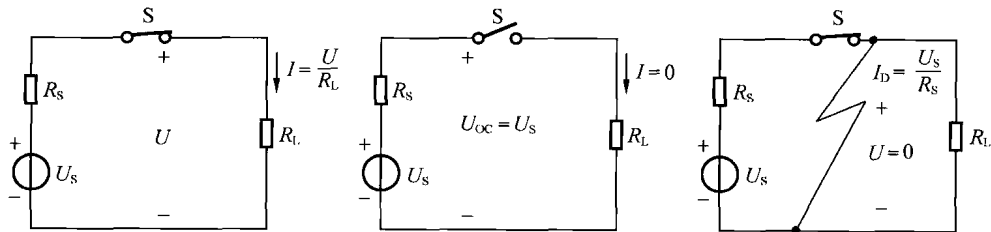


图1-6 电路的3种工作状态

(1) 通路

图1-6(a)所示中,电源与负载通过中间环节连接成闭合通路后,电路中的电流和电压分别为

$$I = \frac{U_s}{R_s + R_L}$$

$$U = U_s - IR_s = U_s - U_0$$

式中, R_L 为负载电阻, R_s 为电源内阻,通常 R_s 很小。负载两端的电压 U 也是电源的输出电压。由式可知,随着电源输出电流 I 的增大,电源内阻 R_s 上压降 $U_0 = IR_s$ 也增大,电源输出端电压 U 随之降低。电源两端电压 U 随输出电流变化的关系曲线称为电源的外特性,由图1-7所示曲线来描述。一般情况下,我们希望电源具有稳定的输出电压,即希望电源的外特性曲线尽量趋于平直。显然,要使电源输出特性平稳,就要尽量减小电源的内阻 R_s ,从而使电源内部的损耗得以限制,提高电源设备的利用率。因此,实际电压源的内阻都是非常小的。

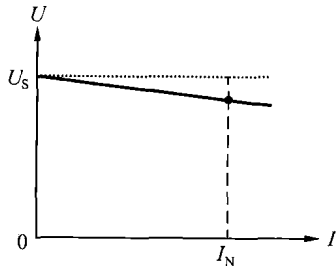


图1-7 电源的外特性



(2) 开路

图 1-6 (b) 所示电路中, 开关 S 断开, 电源未与负载接通, 电源处于开路状态。若元器件的一根引脚断了可以说成是元器件开路。开路状态下电路中 (或元器件中) 无电流通过, 即 $I=0$, 此时电源端电压 $U_{OC}=U_S$ 。

(3) 短路

短路可以用图 1-6 (c) 所示电路来说明。电路中, 负载电阻 R_L 的两根引脚被导线接通, 称作负载被短路; 又因为短路导线两端与电源两端也直接相连, 因此也可称为电源被短路。电路发生短路时, 本来流过负载的电流不再通过负载, 而是通过短路的导线直接流回电源。由此可知, 短路将使电流的流动回路发生改变。一般情况下, R_L 远大于 R_S , 因此短路电流为

$$I_D = \frac{U_S}{R_S} \gg I_N = \frac{U_S}{R_S + R_L}$$

电源将由于过热而被烧毁。因此电源短路现象不允许发生, 通常电路中都应有短路保护设施。

电工电子技术中为了某种需要, 常常需要改变一些参数的大小, 有时也会将部分电路或某些元件两端予以技术上的短接, 这种人为的短接, 应和短路事故相区别。

【例 1.3】 有一电源设备, 额定输出功率为 400 W, 额定电压为 110V, 电源内阻 $R_S=1.38\Omega$, 当负载电阻分别为 50Ω 和 10Ω 、或发生短路事故时, 求 U_S 及各种情况下电源输出的功率。

【解】 电源向外电路供给的额定电流为

$$I_N = \frac{P_N}{U_N} = \frac{400}{110} \approx 3.64\text{A}$$

电压源:

$$U_S = U_N + I_N R_S = 110 + 3.64 \times 1.38 = 115\text{V}$$

(1) 当负载为 50Ω 时:

$$I = \frac{U_S}{R_S + R_L} = \frac{115}{1.38 + 50} \approx 2.24\text{A} < I_N \rightarrow \text{电源轻载}$$

电源输出的功率:

$$P_{RL} = UI = I^2 R_L = 2.24^2 \times 50 = 250.88\text{W} < P_N$$

(2) 当负载为 10Ω 时:

$$I = \frac{U_S}{R_S + R_L} = \frac{115}{1.38 + 10} \approx 10.11\text{A} > I_N \rightarrow \text{电源过载, 应避免}$$

此时电源输出的功率为

$$P_{RL} = UI = I^2 R_L = 10.11^2 \times 10 \approx 1022.12\text{W} > P_N$$

(3) 当电源发生短路时:

$$I_D = \frac{U_S}{R_S} = \frac{115}{1.38} \approx 83.33\text{A} \approx 23I_N$$

如此大的短路电流, 如不采取保护措施迅速切断电路, 电源及导线等将立即烧毁。

电源短路是非常危险的事故状态, 为防止由于短路而引起的后果, 线路中应有自动切断短路电流的设备, 如熔断器和低压断路器等。生活与生产中最简单的短路保护装置是熔断器, 俗称保险丝。保险丝是一种熔点很低 ($60^\circ\text{C} \sim 70^\circ\text{C}$) 的合金, 粗细不同的保险丝, 其额定熔断值存在差异。当电流超过额定值时, 由于温度升高, 保险丝会自动熔断, 从而保护电路不被损坏。在实际应用中, 必须根据电路中电流的大小, 正确选用保险丝。



检验学习结果

1. 将图 1-7 所示的电源外特性曲线继续延长直至与横轴相交, 则交点处电流是多少? 此时相当于电源工作在何种状态?
2. 标有“1W、100Ω”的金属膜电阻, 在使用时电流和电压不得超过多大数值?
3. 额定电流为 100A 的发电机, 只接了 60A 的照明负载, 还有 40A 去哪了?
4. 电源的开路电压为 12V, 短路电流为 30A, 求电源的参数 U_S 和 R_S 。

1.3 线性电路元件及其伏安特性

学习目标

了解线性电路的概念, 熟悉常用线性电路元件的图形符号和文字符号, 理解和掌握它们各自代表的电特性及其伏安特性。

1. 电阻元件

电阻元件的参数用 R 表示, 其图形符号如图 1-8(a) 所示。其定义式为

$$R = \frac{U}{I} \quad (1-7)$$

显然, 电阻元件的伏安关系就是欧姆定律, 可用如图 1-8(b) 所示曲线表示。即电阻元件上的瞬时电压与瞬时电流总是成线性正比变化关系, 因此, 它们的波形完全相同。

习惯上我们把导体对于电流所呈现的阻力称为电阻, 所以日常生产、生活中常用的电炉、电阻器、白炽灯等均可用电阻元件来模拟。但电学中电阻元件的概念和意义更加广泛, 它代表了实际电路中所有消耗电能的现象, 如电能转化为机械能、化学能、光能或声能等, 这些耗能现象显然

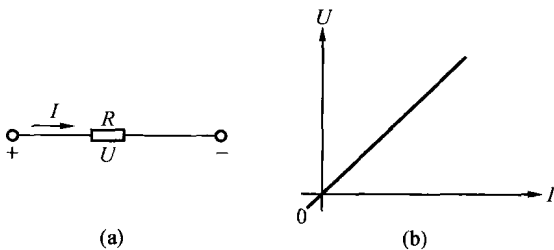


图 1-8 线性电阻元件图形符号及伏安特性

无法用对电流呈现的阻力来描述, 但用电压与电流之比定义电阻后, 这些耗能现象均可归属到电阻上。因此, 电阻元件不仅可以模拟固体、液体或气体所呈现的电阻, 也可以表征一切消耗电能的各种物理现象, 是电路中所有耗能电特性的抽象及理想化模型。

由电阻元件的伏安关系可得, 其两端电压与通过它的电流在任一瞬时都存在即时对应的线性正比关系, 因此常把电阻元件称为**即时元件**。

电阻元件上消耗的电功率为

$$P = UI = I^2R = \frac{U^2}{R} \quad (1-8)$$

2. 电感元件和电容元件

(1) 电感元件

许多电机电器的主要部件就是一个电感线圈, 收音机的接收电路、电视机的高频头也都包含