

# 电工

# 基础与实践

• 王学屯 王会军 编著

Electrotechnics



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

# 电工

## 基础与实践

· 第二版

Electrotechnics

中国劳动社会保障出版社

# 电工基础与实践

王学屯 王会军 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

## 内 容 简 介

本书是中职类学校的有关电子电气类专业技术基础课教材。本书以讲解电工基本概念、基本理论为主,适当联系后继课程和生产实际,内容包括电路的基本知识、简单直流电路、复杂直流电路、电容器、磁场与电磁感应、单相正弦交流电路、三相交流电路。

本书可作为中等职业技术学校电类专业通用教材,也可作为农村电工、相关技能培训班、家电维修维修人员的培训和自学用书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。  
版权所有,侵权必究。

### 图书在版编目(CIP)数据

电工基础与实践 / 王学屯, 王会军编著. —北京: 电子工业出版社, 2011.6  
ISBN 978-7-121-13754-9

I. ①电… II. ①王… ②王… III. ①电工学—中等专业学校—教材 IV. ①TM1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 104465 号

策划编辑: 柴 燕

责任编辑: 韩玉宏

印 刷: 三河市鑫金马印装有限公司  
装 订:

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×1092 1/16 印张: 14.75 字数: 378 千字


印 次: 2011 年 6 月第 1 次印刷

印 数: 4 000 册 定价: 29.80 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 [zltz@phei.com.cn](mailto:zltz@phei.com.cn), 盗版侵权举报请发邮件至 [dbqq@phei.com.cn](mailto:dbqq@phei.com.cn)。

服务热线: (010) 88258888。



F O R E W O R D

# 前 言

本书是中职类学校的有关电子电气类专业技术基础课教材。在本书的编写过程中，以劳动和社会保障部培训就业司颁布的《电工基础教学大纲》(2008)为依据，充分考虑到目前我国职业教育的最大特点，即“以就业为导向，以职业岗位训练为主体”，参考了有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，并结合了编者多年从事中等职业学校电类课程教学的经验。

在编写过程中，力求突出职业教育的特点，充分考虑电工专业课和实习课对电工基础知识的要求，以讲解电工基本概念、基本理论为主，适当联系后继课程和生产实际；同时，注意从学生的实际出发，精简理论推导，突出定性分析，减少定量计算，丰富实训内容，力求做到内容既系统全面，又突出重点，文字简练，图文并茂，通俗易懂。本书强调知识点为“专业技能”服务，适当降低理论深度，淡化理论推导细节，在安排习题时，尽可能选择与生产、生活实际相关的内容，以提高学生的学习兴趣和解决实际问题的能力。

本书可作为中等职业技术学校电类专业通用教材，也可作为农村电工、相关技能培训班、家电维修维修人员的培训和自学用书。

全书主要由王会军编写，部分章节及统稿由王学屯完成。参加编写的还有高鲜梅、孙文波、王米米、刘军朝、王翌敏、赵伟、张建春、桑晓栋、王琼琼等。

在本书的编写过程中参考了大量的文献和书籍，书后只列出了一部分，在此，对这些文献和书籍的作者深表感谢！同时，在编写过程中，还得到了电子工业出版社赵丽松、柴燕的大力支持和帮助，在此一并表示最诚挚的感谢！

由于编者水平有限，且时间仓促，本书难免有错误和不妥之处，恳请各位读者批评指正，以便使之日臻完善，在此表示感谢。

编 著 者

2011年2月

C O N T E N T S

# 目 录

第 1 章 电路的基本知识	(1)
第一节 电流	(2)
一、电流的种类	(2)
二、电流的大小	(2)
三、电流的方向	(3)
第二节 电路	(3)
一、电路及组成	(3)
二、电路图	(4)
三、电路的状态	(5)
第三节 电位与电压	(6)
一、电位	(6)
二、电压(电位差)	(6)
实训一 万用表的使用与电流、电压的测量	(7)
一、万用表的使用	(8)
二、电流与电压的测量	(9)
三、实训练习	(10)
第四节 电动势	(11)
一、电源力	(11)
二、电动势	(12)
三、电动势与路端电压的关系	(12)
第五节 电阻与电导	(13)
一、电阻	(13)
二、电阻定律	(13)
三、电阻率	(13)
四、电阻率与温度的关系	(14)
五、电导	(15)
第六节 欧姆定律	(15)
一、部分电路欧姆定律	(15)
二、伏安特性曲线	(16)
三、全电路欧姆定律	(16)
四、电源的外特性	(17)

实训二 电阻的测量	(19)
一、用万用表测量电阻	(19)
二、用伏安法测量电阻	(21)
三、实训练习	(22)
第七节 电功与电功率	(23)
一、电功	(23)
二、电功率	(23)
三、功率的参考方向	(24)
四、电流的热效应	(25)
五、电气设备的额定值	(25)
课后练习	(26)
<b>第2章 简单直流电路</b>	<b>(29)</b>
第一节 串联电路	(30)
一、电阻串联电路	(30)
二、电池的串联	(33)
第二节 并联电路	(33)
一、电阻并联电路	(33)
二、电池的并联	(37)
第三节 混联电路	(37)
一、电阻混联电路	(37)
二、电池的混联	(40)
第四节 电源的功率及负载获得最大功率的条件	(41)
一、电源的功率	(41)
二、负载获得最大功率的条件	(41)
第五节 电路中电位和电压的计算	(43)
一、电路中各点电位的计算	(43)
二、电路中两点间电压的计算	(45)
实训三 电位与电压的测量	(46)
一、测量原理	(46)
二、实训练习	(46)
课后练习	(47)
<b>第3章 复杂直流电路</b>	<b>(53)</b>
第一节 基尔霍夫定律	(54)
一、名词术语	(54)
二、基尔霍夫第一定律 (KCL 定律)	(55)
三、基尔霍夫第二定律 (KVL 定律)	(57)
实训四 基尔霍夫定律验证	(59)



一、实训目的 .....	(59)
二、实训练习 .....	(59)
第二节 支路电流法 .....	(61)
第三节 叠加原理 .....	(62)
第四节 戴维南定理 .....	(64)
实训五 戴维南定理的验证 .....	(66)
一、实训目的 .....	(66)
二、实训练习 .....	(66)
第五节 电压源、电流源及其等效变换 .....	(68)
一、电压源 .....	(68)
二、电流源 .....	(69)
三、电压源与电流源的等效变换 .....	(71)
第六节 电桥电路 .....	(73)
一、直流电桥电路 .....	(73)
二、直流电桥电路的平衡条件 .....	(74)
三、直流电桥电路应用举例 .....	(74)
课后练习 .....	(75)
<b>第4章 电容器 .....</b>	<b>(81)</b>
第一节 电容器与电容量 .....	(82)
一、电容器 .....	(82)
二、电容量 .....	(83)
三、电容器的主要性能指标 .....	(84)
第二节 电容器的充电和放电过程 .....	(85)
一、电容器的充电 .....	(85)
二、电容器的放电 .....	(85)
三、电容器充、放电的特点 .....	(86)
第三节 电容器的连接 .....	(87)
一、电容器的串联 .....	(87)
二、电容器的并联 .....	(90)
三、电容器的混联 .....	(91)
第四节 电容器的种类和选用 .....	(92)
一、电容器的种类 .....	(92)
二、电容器的选用 .....	(94)
实训六 电容器的简易检测 .....	(95)
一、实训目的 .....	(95)
二、实训原理 .....	(95)
三、实训练习 .....	(97)
课后练习 .....	(97)



第5章 磁场与电磁感应	(101)
第一节 磁的基本知识	(102)
一、磁体与磁极	(102)
二、磁场与磁感线	(103)
三、电流的磁场	(104)
第二节 磁场的主要物理量	(106)
一、磁通量	(106)
二、磁感应强度	(106)
三、磁导率	(107)
四、磁场强度	(108)
第三节 磁场对通电导体的作用	(109)
一、磁场对通电直导体的作用	(109)
二、磁场对通电矩形线框的作用	(111)
第四节 铁磁材料及其磁性能	(113)
一、铁磁物质的磁化	(113)
二、磁化曲线	(114)
三、磁滞回线	(115)
四、铁磁材料的分类	(115)
第五节 电磁感应	(116)
一、电磁感应现象	(116)
二、法拉第电磁感应定律	(117)
三、楞次定律	(118)
四、直导体中感应电动势大小和方向的确定	(119)
实训七 楞次定律验证	(121)
一、实训目的	(121)
二、实训原理	(121)
三、实训练习	(121)
第六节 自感现象	(122)
一、自感现象的产生	(122)
二、自感系数	(123)
三、自感电动势	(124)
四、电感线圈中的磁场能量	(125)
五、自感现象的应用与危害	(125)
第七节 互感现象	(126)
一、互感现象的产生	(126)
二、互感系数与互感电动势	(127)
三、互感线圈的同名端	(127)
四、互感现象的应用与危害	(129)
第八节 涡流	(130)



一、涡流 .....	(130)
二、涡流的应用与危害 .....	(130)
第九节 磁路与磁路欧姆定律 .....	(132)
一、磁路 .....	(132)
二、磁路欧姆定律 .....	(132)
三、电磁铁 .....	(133)
课后练习 .....	(136)
<b>第6章 单相正弦交流电路 .....</b>	<b>(143)</b>
第一节 交流电的基本概念 .....	(144)
一、交流电 .....	(144)
二、正弦电动势的产生 .....	(145)
第二节 表征交流电的基本物理量 .....	(147)
一、交流电的瞬时值与最大值 .....	(147)
二、交流电的周期、频率、角频率 .....	(147)
三、交流电的相位与相位差 .....	(149)
四、交流电的有效值与平均值 .....	(151)
实训八 常用电子仪器的使用 .....	(152)
一、实训目的 .....	(152)
二、低频信号发生器的使用 .....	(152)
三、示波器的使用 .....	(153)
四、实训练习 .....	(155)
第三节 正弦交流电的表示方法 .....	(156)
一、解析式表示法 .....	(156)
二、波形图表示法 .....	(156)
三、相量图表示法 .....	(157)
*四、符号法 .....	(159)
第四节 具有单一参数元件的单相交流电路 .....	(161)
一、纯电阻电路 .....	(161)
二、纯电感电路 .....	(163)
三、纯电容电路 .....	(167)
第五节 串联交流电路 .....	(170)
一、 $R-L-C$ 串联电路 .....	(170)
二、 $R-L$ 串联电路 .....	(174)
三、 $R-C$ 串联电路 .....	(175)
第六节 并联交流电路 .....	(177)
一、 $R-L-C$ 并联电路 .....	(177)
二、实际线圈和电容器的并联电路 .....	(178)
实训九 单相交流电路 .....	(181)

一、实训目的 .....	(181)
二、实训练习 .....	(181)
实训十 日光灯电路安装与功率因数的增大 .....	(183)
一、实训目的 .....	(183)
二、单相功率表的使用 .....	(184)
三、实训练习 .....	(185)
第七节 谐振电路 .....	(186)
一、串联谐振电路 .....	(186)
二、并联谐振电路 .....	(189)
实训十一 $R-L-C$ 串联谐振电路 .....	(193)
一、实训目的 .....	(193)
二、实训练习 .....	(193)
*第八节 用符号法求解正弦交流电路 .....	(194)
一、电阻、感抗和容抗的复数表示 .....	(195)
二、串联电路和并联电路的复阻抗表示形式 .....	(195)
三、用符号法求解正弦交流电路 .....	(196)
课后练习 .....	(198)
<b>第 7 章 三相交流电路 .....</b>	<b>(203)</b>
第一节 三相交流电源 .....	(204)
一、三相交流电动势的产生 .....	(204)
二、三相交流电源绕组的连接 .....	(205)
第二节 三相负载的连接 .....	(207)
一、三相负载的星形连接 .....	(207)
二、三相负载的三角形连接 .....	(209)
第三节 三相交流电路的功率 .....	(212)
第四节 安全用电的基本知识 .....	(213)
一、触电对人体的伤害 .....	(214)
二、触电的原因和方式 .....	(214)
三、常用的安全用电防护措施 .....	(215)
四、安全用电注意事项 .....	(217)
实训十二 三相负载的连接 .....	(218)
一、实训目的 .....	(218)
二、实训练习 .....	(218)
课后练习 .....	(220)
<b>参考文献 .....</b>	<b>(223)</b>

# 第1章

## 电路的基本知识

本章是电工学的理论基础，主要介绍电路的基本概念和电学中的一些基本物理量，并研究电路的基本规律。

### 学习导航

基本概念与物理量	<ul style="list-style-type: none"><li>• 电流</li><li>• 电路</li><li>• 电位与电压</li><li>• 电动势</li><li>• 电阻与电导</li><li>• 电功与电功率</li></ul>
基本规律	<ul style="list-style-type: none"><li>• 电阻定律</li><li>• 欧姆定律</li></ul>
实训	<ul style="list-style-type: none"><li>• 万用表的使用与电流、电压的测量</li><li>• 电阻的测量</li></ul>

## 第一节 电 流

物理学中讲过电荷，并且知道，处在电场中的电荷会受到电场力的作用而运动。

我们把电荷有规则的定向移动称为电流。

形成电流有两个条件：①要有可自由移动的自由电荷；②要有能使自由电荷定向移动的电场（电压）。

不同的导体，自由电荷的种类不同。例如，在金属导体中，自由电荷是自由电子；在电解液中，自由电荷是正、负离子。

### 一、电流的种类

电流的分类方式较多，按波形可分为直流、交流和脉动电流三大类。凡大小和方向都不随时间变化的电流，称为稳恒电流，简称直流，用 DC 表示，如图 1-1 (a) 所示；凡大小和方向都随时间变化的电流，称为交变电流，简称交流，用 AC 表示，如图 1-1 (b) 所示；凡电流的大小随时间变化，但方向不随时间变化的电流，称为脉动电流，如图 1-1 (c) 所示。本章主要讨论直流。

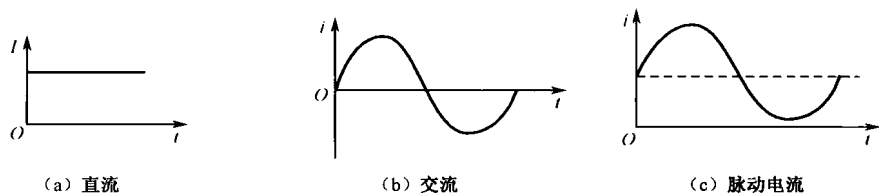


图 1-1 电流波形图

### 二、电流的大小

电流的大小用电流强度来衡量。我们把单位时间内通过导体横截面的电荷量叫做电流强度，简称电流，用  $I$  表示。

若在一定时间  $t$  内通过导体横截面的电荷量为  $Q$ ，则电流  $I$  为

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

式中，时间  $t$  的单位是秒 (s)；电荷量  $Q$  的单位是库仑 (C)，简称库；电流  $I$  的单位是安培 (A)，简称安。

常用的电流单位还有千安 (kA)、毫安 (mA)、微安 ( $\mu\text{A}$ ) 等，其换算关系为

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

例题 1-1 某导体在 5min 内通过的电荷量为 4.5C，导体中的电流是多少？

解：由  $I = \frac{Q}{t}$  得

$$I = \frac{4.5}{5 \times 60} = 0.015(\text{A}) = 15(\text{mA})$$

### 三、电流的方向

为分析、计算方便，习惯上规定，正电荷移动的方向为电流的正方向。在金属导体中，电流的方向与电子移动的方向相反。

有时候会遇到某一电流的实际方向难以确定的情况，这时可先假定一个电流的方向，称做参考方向，然后根据电流的参考方向进行计算。若结果为正值，则表明电流的实际方向与参考方向一致，如图 1-2 (a) 所示；若结果为负值，则表明电流的实际方向与参考方向相反，如图 1-2 (b) 所示。

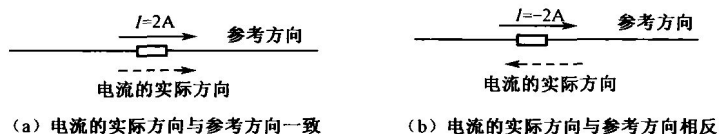


图 1-2 电流的方向

## 第二节 电 路

### 一、电路及组成

#### 1. 电路的概念

如图 1-3 (a) 所示，当合上开关时，电灯泡会发亮，这是因为有电流通过。同样，如图 1-3 (b) 所示，当接通台灯开关或电风扇开关时，台灯会亮起来，电风扇会转动起来，这也是因为有电流通过。

我们把电流通过的路径称为电路。电路分直流电路和交流电路。图 1-3 (a) 所示为最简单的直流电路，图 1-3 (b) 所示为最简单的交流电路。

#### 观察与思考

为什么干电池有正、负极之分，而通常用的插座或插头没有极性之分？

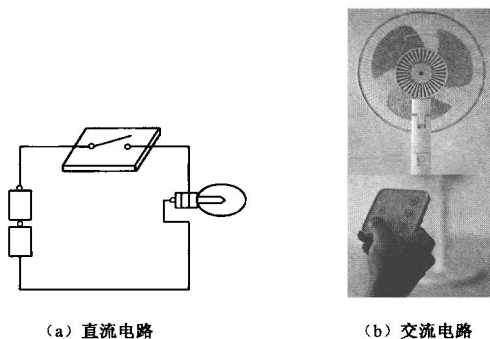


图 1-3 电路的组成

## 2. 电路的组成

任何一个完整的实际电路，总包括 4 个基本部分，即电源、负载、导线及开关。实物接线图如图 1-3 所示。各部分的主要功能如下。

(1) 电源：提供电能的设备。其作用是把其他形式的能量转化为电能。常见的有干电池、蓄电池、光电池、锂离子电池、发电机等。电源常用图形符号为“ $\text{---}|$ ”或用“ $\sim$ ”来表示。

(2) 负载：各种用电设备的通称。其作用是将电能转化为其他形式的能量，如电灯泡、电风扇、电动机、电加热器等。

(3) 导线：连接电源和负载，用于输送和分配电能。常用的导线是铜线和铝线，在弱电中（印制电路板）常用印制铜箔作为导线。

(4) 开关：控制电路的导通（ON）和断开（OFF）。常用的有闸刀开关、拉线开关、按钮开关、拨动开关、空气开关等，在弱电中常采用电子开关来代替机械性开关。

电路主要有两大任务：一是作为能量的传输或转换，例如，电能通过导线传输给电灯泡转换为光能；二是作为实现电信号的传递和处理，如电视机、手机中的各种单元电路。

实际电路中根据需要还装有其他辅助设备，如测量仪表、熔断器、继电器等。

## 二、电路图

图 1-3 所示为实物接线图。为便于分析和研究电路，用统一规定的图形符号代替实物，这样画出来的接线图称为电路图或原理图。例如，可将如图 1-3 所示的实物接线图画成如图 1-4 所示的电路图。

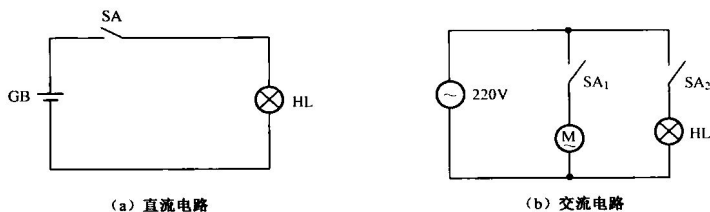


图 1-4 电路图

为方便画图，电路图常用图形符号来构成，其常用的图形符号如表 1-1 所示。

表 1-1 常用电路图图形符号

名称	图形符号	名称	图形符号	名称	图形符号
开关		电池		电阻器	
电位器		灯		熔断器	
半导体二极管		理想电压源		理想电流源	
电容器		电流表		电压表	
功率表		发电机		端子	
接地		接机壳		连接导线	
不连接线		电感器、线圈		带磁芯的电感器	

### 三、电路的状态

电路一般有 3 种工作状态：通路、断路和短路，如图 1-5 所示。

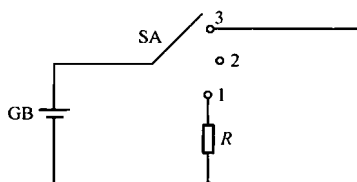


图 1-5 电路的 3 种状态

#### 1. 通路（闭路）

电源与负载接通，电路中有正常的电流通过，电气设备获得一定的电压和电功率，这时电路处于通路状态，如图 1-5 中开关 SA 置于“1”上。必须注意，处于通路状态的各种电气设备的电压、电流、功率等不能超过其额定值（电气设备安全工作时所允许的最高电压、最大电流、最大功率）。

#### 2. 断路（开路）

电路断开，电路中无电流通过，这时电路处于断路状态，又称空载状态，如图 1-5 中开关 SA 置于“2”上。在实际中，电气设备之间、电气设备与导线之间接触不良也会使电路处于断路状态。

#### 3. 短路

电源两端未经负载直接由导线相连接，这时电路处于短路状态，如图 1-5 中开关 SA 置于“3”上。此时，电路中电流过大，对电源来说属于严重过载，导致烧坏电源或其他设备，所以通常要在电路中安装熔断器等保护装置，严防电路发生意外短路。在实际工作中，有时会遇到



电路中某一负载两端直接由导线相连接的情况，这称为该负载被短路（短接）。如图 1-6 所示，负载  $R_2$  被短路，使  $R_2$  不起作用。

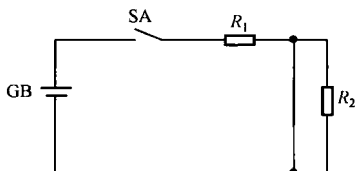


图 1-6  $R_2$  被短路

## 第三节 电位与电压

### 一、电位

电流与水流相似。水总是从高水位流向低水位，同样，在外电路中，电流总是从高电位流向低电位，说明电路中各点也有一定的电位。水位是一个相对值，是相对于其基准点（参考点）而言的，同理，电位也是一个相对值，是相对于其参考点（零电位点）而言的。

我们把电场力将单位正电荷从某点移到参考点所做的功叫做该点的电位。通常用  $V$ （或  $U$ ）带下标的符号表示，如  $V_a$ 、 $V_b$ 、 $U_a$ 、 $U_b$  等。电位的单位是伏特，简称伏，单位符号是  $V$ 。

为了求得电路中各点的电位，必须选择一个参考点。参考点的电位规定为零，这样，高于参考点的电位为正电位，低于参考点的电位为负电位。通常以大地或机壳为参考点，分别用符号“ $\perp$ ”或“ $\underline{\perp}$ ”来表示。

应注意，参考点改变时，电路中各点的电位也将随之改变。

### 二、电压（电位差）

#### 1. 电压的大小

电路中两点之间的电位之差，称为该两点间的电压，也称电位差。通常用  $U$  带下标的符号表示。例如， $U_{ab}$  表示 a、b 两点间的电压，即

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

电压的单位也是伏特（ $V$ ），常用的单位还有千伏（ $kV$ ）、毫伏（ $mV$ ）和微伏（ $\mu V$ ），其换算关系为

$$1 \text{ kV} = 10^3 \text{ V} = 10^6 \text{ mV} = 10^9 \mu \text{ V}$$

电压是形成电流的条件。