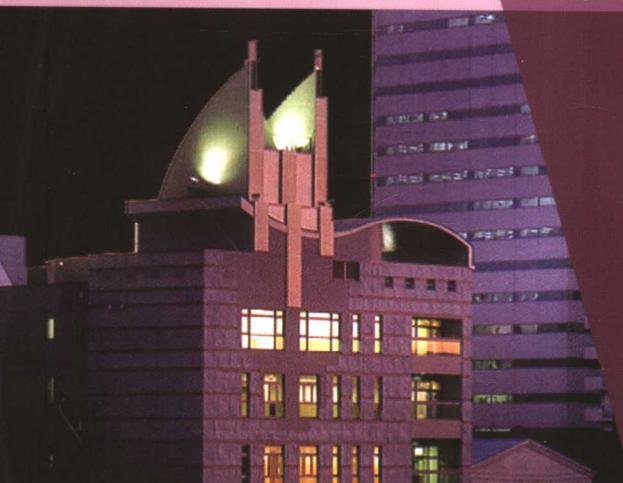




高等职业院校国家技能型
紧缺人才培养培训工程规划教材
· 楼宇智能化专业



电工基础与 技能

李贤温 主编



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

高等职业院校国家技能型紧缺人才培养培训工程规划教材·楼宇智能化专业

电工基础与技能

李贤温 主编

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书分两部分：第1部分为电工基础知识，第2部分为电工技能操作。

电工基础知识共9章，内容包括电路基本知识、直流电路的计算、正弦交流电路的计算、三相正弦交流电路的计算、常用变压器、常用电动机、常用低压电器、照明电路基础和安全用电常识等。每章前面有学习要点，章中有适量的“自己动手”内容，章后有思考与练习。本部分还有配套电子教案，可网上下载。

电工技能操作共18个项目，每一个项目由两部分组成：一是知识要点，二是实际训练。知识要点讲授基本知识，实际训练包括实训内容、实训目的、实训要求、实训器材、实训程序、实训评价、实训小结和实训思考等8个环节。

本书可作为高等职业院校两年制高职高专楼宇智能化专业专科层次教学用书，也可作为其他电类或非电类专业教学用书。

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

电工基础与技能 / 李贤温主编. —北京: 电子工业出版社, 2006.2
高等职业院校国家技能型紧缺人才培养培训工程规划教材·楼宇智能化专业
ISBN 7-121-02003-3

I. 电… II. 李… III. 电工学—高等学校: 技术学校—教材 IV. TM1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 004198 号

责任编辑: 洪国芬 特约编辑: 王宝祥

印 刷: 北京市海淀区四季青印刷厂

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

经 销: 各地新华书店

开 本: 787×1 092 1/16 印张: 15.75 字数: 403 千字

印 次: 2006 年 2 月第 1 次印刷

印 数: 4 000 册 定价: 22.00 元

凡购买电子工业出版社的图书, 如有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系。
联系电话: (010) 68279077。质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

出版说明

高等职业教育是我国高等教育体系的重要组成部分，也是我国职业教育体系的重要组成部分。社会需求是职业教育发展的最大动力。2004年3月，教育部会同劳动和社会保障部、国防科工委、信息产业部、交通部、卫生部启动了“职业院校制造业和现代服务业技能型紧缺人才培养培训工程”，明确了高等职业教育的根本任务是要从劳动力市场的实际需要出发，坚持以就业为导向，以全面素质为基础，以能力为本位，把提高学生的职业能力放在突出的位置，加强实践教学，努力造就数以千万计的制造业和现代服务业一线迫切需要的高素质技能型人才。2004年10月，为了深入贯彻落实《中共中央、国务院关于进一步加强人才工作的决定》，教育部、建设部决定实施“职业院校建设行业技能型紧缺人才培养培训工程”，并颁布了《教育部、建设部关于实施职业院校建设行业技能型紧缺人才培养培训工程的通知》。《通知》中规定：从2004年起，在建筑施工（含市政工程施工）、建筑装饰、建筑设备和建筑智能化等四个专业领域，在全国选择94所中等职业学校、71所高等职业技术学院作为建设行业实施技能型紧缺人才示范性培养培训基地。

为了适应高等职业教育发展与改革的新形势，电子工业出版社在国家教育部、信息产业部有关司局的支持、指导和帮助下，进行了调研，探索出版符合高等职业教育教学模式、教学方法、学制改革的新教材的路子，并于2004年4月3日至13日在南京分别召开了“计算机应用与软件技术”、“数控技术应用”、“汽车运用与维修”等3个专业的教材研讨会。随后，于2005年5月15日至19日在上海召开了建筑行业技能型紧缺人才教学与教材研讨会。参加此系列会议的200多名骨干教师来自全国100多所高职院校，很多教师是双师型的教师，具有丰富的教学经验和实践经验。会议根据教育部制定的高职两年制培养建议方案，确定了主干课程和基础课程共80个选题，其中：“计算机应用与软件技术专业”30个；“数控技术应用专业”12个；“汽车运用与维修专业”18个；建筑类专业20个。

这批教材的编写指导思想是以两年制高等职业教育技能型紧缺人才为培养目标，明确职业岗位对专业核心能力和一般专业能力的要求，重点培养学生的技术运用能力和岗位工作能力，并围绕核心能力的培养形成系列课程体系。教材编写注重技能性、实用性，加强实验、实训、实习等实践环节。教材的编写内容和学时数较以往教材有根本的变化，不但对教材内容系统地进行了精选、优化和压缩，而且适当考虑了相应的职业资格证书的课程内容，有利于学生在获得学历证书的同时，顺利获得相应的职业资格证书，增强学生的就业竞争能力。为了突出教学效果和方便教学，这批教材将配备电子教案，重点教材将配备多媒体课件。

这批教材是伴随着高等职业教育的改革与发展而问世的，可满足当前两年制高等职业教育教学的需求。教材所存在的一些不尽如人意之处，将在今后的教学实践中不断修订、完善和充实。我们将一如既往地依靠业内专家，与科研、教学、产业第一线人员紧密结合，加强合作，与时俱进，不断开拓，为高等职业教育提供优质的教学资源和服务。

电子工业出版社
高等职业教育教材事业部
2005年10月

前 言

高职教育属于技术教育的范畴，其目标是培养技术应用型人才。因此，必须重技能，重实践，理论联系实际。

为了满足各类职业院校两年制高职高专楼宇智能化专业专科层次和其他电类或非电类专业专科层次的教学用书，依照《教育部、建设部关于实施职业院校建设行业技能型人才培养培训工程的通知》精神，根据专业对《电工基础与技能》教学大纲的要求，在反复实践、充分论证的基础上编写了这本理论教学与实践教学合二为一的实用型教学用书《电工基础与技能》。

本书对现有的高职高专电工教学用书进行了创新。

创新一：本书包含两部分。第1部分为电工基础知识；第2部分为电工操作技能。两部分既能自成体系，又可相互联系。

创新二：在电工基础知识的每一章中增加了适量的“自己动手”内容，帮助理解理论知识并增加感性认识及动手能力。

创新三：结合实践教学的规律和特点以及电工操作技能的特殊性，电工操作技能中的每一项操作技能由两部分组成，一是知识要点，二是实际训练。知识要点讲授基本知识，实际训练包括实训内容、实训目的、实训要求、实训器材、实训程序、实训评价、实训小结和实训思考等8个环节。突出了以学生为中心和以能力为本位的原则。

在编写过程中，全书力求文字简明、概念清晰、条理清楚、讲解到位、插图规范，使之易教易学，尽量减少过于复杂的分析与计算，着重于定性分析，以能力培养为主，以知识够用为度，加强理论和实践的联系，引导学生对理论和实践产生浓厚兴趣，提高学生的学习积极性和学习效率，变被动学习为主动学习。

本书由山东淄博职业学院李贤温副教授担任主编，山东淄博职业学院曾照香教授担任主审；海南海口经济职业技术学院郭永佾编写第8章，南京交通职业技术学院王宁编写第4章，沈阳建筑大学职业技术学院范蕴秋编写第9章，其余内容均由李贤温编写并统稿。

本书在编写过程中，宋涛、张环、李功、郝岷等老师对稿件提出了许多宝贵意见，在此一并表示深切谢意。同时对供鉴所列文献的作者表示诚挚的感谢。

由于时间短，加之编者水平有限，书中可能有错漏和不妥之处，恳请读者批评指正。

编 者

2005年11月

目 录

第 1 部分 电工基础知识

第 1 章 电路基础知识	(1)
1.1 实际电路	(1)
1.2 电路模型	(1)
1.3 电路状态	(2)
1.3.1 通路 (负载工作状态)	(2)
1.3.2 断路 (开路状态)	(2)
1.3.3 短路 (故障状态)	(2)
1.4 电路的基本物理量	(3)
1.4.1 电流	(3)
1.4.2 电压	(4)
1.4.3 功率	(6)
1.4.4 电能	(6)
1.4.5 电阻	(6)
1.5 欧姆定律	(7)
1.6 电阻元件的功率	(8)
1.7 电压源和电流源	(8)
1.7.1 电压源	(9)
1.7.2 电流源	(9)
1.7.3 电压源与电流源的等效互换	(10)
思考与练习	(11)
第 2 章 直流电路的计算	(13)
2.1 简单直流电路的计算	(13)
2.1.1 电阻的串联计算	(13)
2.1.2 电阻的并联计算	(14)
2.1.3 电阻的串并联计算	(15)
2.2 复杂直流电路的计算	(17)
2.2.1 用基尔霍夫定律计算	(17)
2.2.2 用叠加定理计算	(20)
2.2.3 用戴维南定理计算	(23)
2.3 热能的计算 (焦耳-楞次定律)	(25)
2.4 电位的计算	(26)
思考与练习	(28)
第 3 章 正弦交流电路的计算	(31)
3.1 正弦交流电的概念	(31)

3.1.1	正弦交流电的函数表示法	(31)
3.1.2	正弦交流电的三要素	(32)
3.1.3	相位差	(33)
3.1.4	有效值	(35)
3.1.5	正弦量的相量表示法	(36)
3.2	三种基本元件交流电路	(40)
3.2.1	纯电阻交流电路	(40)
3.2.2	纯电感交流电路	(42)
3.2.3	纯电容交流电路	(46)
3.2.4	电阻、电感、电容串联电路	(49)
3.2.5	电感和电容并联电路(功率因数的提高)	(54)
	思考与练习	(56)
第4章	三相正弦交流电路的计算	(60)
4.1	三相正弦交流电源	(60)
4.2	三相正弦交流电源的连接	(61)
4.2.1	三相正弦交流电源的星形连接	(61)
4.2.2	三相正弦交流电源的三角形连接	(62)
4.3	三相交流负载的连接	(62)
4.3.1	三相负载的星形连接	(63)
4.3.2	三相负载的三角形连接	(68)
4.3.3	负载星形接法和三角形接法的选择	(70)
4.4	三相正弦交流电路的功率	(70)
4.4.1	三相负载对称	(70)
4.4.2	三相负载不对称	(71)
	思考与练习	(72)
第5章	常用变压器	(74)
5.1	变压器的结构	(74)
5.2	变压器的工作原理	(75)
5.3	变压器的种类	(76)
5.4	变压器的使用	(78)
5.5	变压器绕组极性的测定	(81)
	思考与练习	(82)
第6章	常用电动机	(84)
6.1	三相交流异步电动机的结构	(84)
6.2	三相交流异步电动机的工作原理	(86)
6.3	三相交流异步电动机的启动、调速与制动	(89)
6.3.1	三相交流异步电动机的启动	(89)
6.3.2	三相异步电动机的调速	(91)
6.3.3	三相异步电动机的制动	(92)
6.4	三相交流异步电动机的铭牌和技术数据	(94)

6.5	三相交流异步电动机的选择和使用	(96)
6.5.1	三相交流异步电动机的选择	(96)
6.5.2	三相交流异步电动机的接线	(97)
6.5.3	三相交流异步电动机定子绕组首、尾端的判别	(97)
6.5.4	三相交流异步电动机的型号、结构形式和用途	(98)
6.5.5	电动机使用注意事项	(99)
	思考与练习	(99)
第7章	常用低压电器	(101)
7.1	常用低压电器的结构和原理	(101)
7.1.1	接触器	(101)
7.1.2	继电器	(104)
7.1.3	主令电器	(109)
7.1.4	断路器	(112)
7.1.5	熔断器	(114)
7.1.6	电子电器	(115)
7.2	常用低压电器的选择、使用和维修	(116)
7.2.1	常用低压控制电器的选择	(116)
7.2.2	常用低压控制电器的使用	(119)
7.2.3	常用低压电器的维修	(122)
	思考与练习	(126)
第8章	照明电路基础	(127)
8.1	照明电器用导线和电缆种类及选择	(127)
8.2	照明电器用开关的选用和安装	(128)
8.3	照明电器用灯具种类	(129)
8.4	照明线路配线方法	(130)
8.4.1	常用照明配电方式	(130)
8.4.2	典型的照明配电系统	(131)
8.4.3	室内配线种类	(133)
8.4.4	室内配线基本要求	(135)
8.4.5	常用照明线路的敷设	(135)
8.4.6	常用照明线路的连接	(136)
8.5	照明电气图的识读	(138)
	思考与练习	(139)
第9章	安全用电常识	(140)
9.1	触电种类及伤害	(140)
9.2	触电对人体伤害的影响因素	(140)
9.3	人体触电形式	(142)
9.3.1	直接接触电	(142)
9.3.2	间接触电	(143)
9.4	安全措施	(144)

9.5 触电急救	(147)
9.5.1 脱离电源	(147)
9.5.2 现场对症救护	(148)
9.5.3 急救技术	(148)
思考与练习	(149)

第 2 部分 电工技能操作

技能 1 常用电工工具的使用	(150)
1.1 知识要点	(150)
1.1.1 克丝钳、尖嘴钳和断线钳	(150)
1.1.2 电工刀和剥线钳	(151)
1.1.3 螺丝刀	(152)
1.1.4 活络扳手	(152)
1.1.5 验电器	(153)
1.2 实际训练	(154)
技能 2 常用电工仪表的使用	(157)
2.1 知识要点	(157)
2.1.1 万用表	(157)
2.1.2 直流单臂电桥	(159)
2.1.3 兆欧表	(161)
2.1.4 钳形电流表	(162)
2.2 实际训练	(163)
技能 3 电气识图常识	(165)
3.1 知识要点	(165)
3.2 实际训练	(167)
技能 4 变压器的测试	(170)
4.1 知识要点	(170)
4.2 实际训练	(170)
技能 5 变压器线圈的制作	(172)
5.1 知识要点	(172)
5.2 实际训练	(172)
技能 6 电动机的拆装	(174)
6.1 知识要点	(174)
6.2 实际训练	(176)
技能 7 低压电器的拆装	(178)
7.1 知识要点	(178)
7.2 实际训练	(178)
技能 8 导线的连接和绝缘恢复	(180)
8.1 知识要点	(180)
8.1.1 导线线头绝缘层的剖削	(180)

8.1.2	导线的连接	(181)
8.1.3	导线绝缘层的恢复	(185)
8.2	实际训练	(186)
技能 9	单相配电板的制作	(188)
9.1	知识要点	(188)
9.2	实际训练	(189)
技能 10	白炽灯电路的安装	(192)
10.1	知识要点	(192)
10.1.1	灯具	(192)
10.1.2	白炽灯照明线路原理图	(193)
10.1.3	白炽灯照明线路的安装	(193)
10.1.4	白炽灯照明线路的常见故障分析	(196)
10.2	实际训练	(197)
技能 11	荧光灯电路的安装	(199)
11.1	知识要点	(199)
11.2	实际训练	(202)
技能 12	三相配电板的制作	(205)
12.1	知识要点	(205)
12.1.1	三相负载的功率计算	(205)
12.1.2	三相交流电能表	(205)
12.2	实际训练	(209)
技能 13	控制电路的制图原则和安装步骤	(211)
13.1	知识要点	(211)
13.1.1	控制电路图	(211)
13.1.2	控制电路的安装步骤	(215)
13.2	实际训练	(218)
技能 14	直接启动电路的安装与接线	(220)
14.1	知识要点	(220)
14.1.1	刀开关(开启式负荷开关)控制	(220)
14.1.2	组合开关控制	(222)
14.1.3	铁壳开关(封闭式负荷开关)控制	(223)
14.2	实际训练	(224)
技能 15	点动控制电路的安装与接线	(227)
15.1	知识要点	(227)
15.2	实际训练	(228)
技能 16	单向运转控制电路的安装与接线	(230)
16.1	知识要点	(230)
16.2	实际训练	(231)
技能 17	正反转控制电路的安装与接线	(234)
17.1	知识要点	(234)

17.2 实际训练·····	(235)
技能 18 Y-Δ减压启动控制电路的安装与接线 ·····	(238)
18.1 知识要点·····	(238)
18.2 实际训练·····	(239)
参考文献 ·····	(242)

第 1 部分 电工基础知识

第 1 章 电路基础知识

【学习要点】 本章主要讨论实际电路、电路模型、电路状态、电路的基本物理量等基本知识；引入电流、电压的参考方向等概念；介绍欧姆定律、电压源、电流源等基本内容。

1.1 实际电路

在日常生活或生产实践中，我们会遇到各种各样的电气线路。例如，照明线路，收音机线路，电视机线路，厂矿企业中大量使用的各种控制线路等，这些线路我们称为实际电路。

实际电路是指用实际元器件连接成的线路。如图 1.1 所示为手电筒的实际电路，由一节电池、一只小灯泡、一段输电导线和一个开关组成。其中，电池称为电源，小灯泡称为负载，开关称为控制装置。

【自己动手】 观察手电筒的实际电路（每人 1 个）。

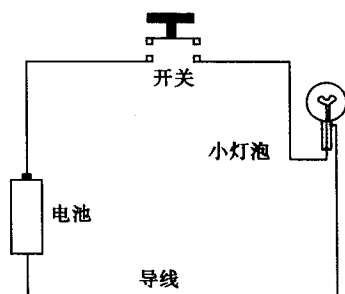


图 1.1 手电筒的实际电路

1.2 电路模型

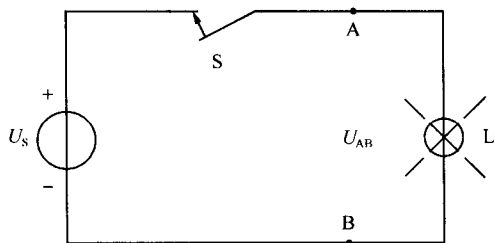


图 1.2 手电筒电路模型

图 1.1 所示的手电筒的实际电路分析起来还算简单，但如果我们拆开一个电视机，去观察它的实际电路就会感觉眼花缭乱，无论是分析问题或解决问题都无从下手，因此，我们引入电路模型的概念。电路模型是指用电路符号代替实际元器件画出的图形，如图 1.2 所示即为手电筒实际电路的电路模型，电路模型简称电路。无论简单电路还是复杂电路，都是由电源、负载、输电导线和控制装置等组成。对电源来讲，负载、输电导线和控制装置称为外电路，

电源内部的一段称为内电路。下面就对电路的组成做简要介绍。

1. 电源

电源是供应电能的装置，它把其他形式的能转换为电能。例如，汽轮发电机把机械能转换成电能，干电池把化学能转换成电能。

2. 负载

负载是使用电能的装置，它把电能转换为其他形式的能。例如，电灯把电能转换成光能，电炉把电能转换成热能，电动机把电能转换成机械能。

3. 输电导线

输电导线是电能的传输路径，把电能从一个位置传输到另一个位置。如汽轮发电机发出的电能通过输电导线传输到我们的家庭或厂矿。

4. 控制装置

控制装置是控制负载是否使用电能的装置。如它能使电灯亮或暗，电动机停或转。

【自己动手】 观察实际电源、负载、输电导线、控制装置（每人1套）。

1.3 电路状态

电路一般有三种状态：通路状态、断路状态和短路状态。

1.3.1 通路（负载工作状态）

通路就是电源与负载接成闭合回路，如图 1.3 所示电路中开关 S 合上时的工作状态。如果忽略导线电阻，负载的电压降 U_L 可用下式求得，即

$$U_L = \frac{U_S R_L}{R_S + R_L}$$

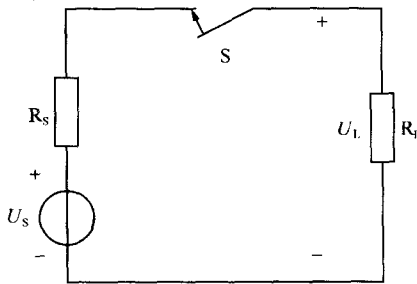


图 1.3 通路（负载工作状态）

式中 R_S 为电源内阻， U_S 为电源电压， R_S 越小，则 U_L 越大，越接近于 U_S ，即带负载能力越强。

1.3.2 断路（开路状态）

断路就是电源与负载没有接成闭合回路，如图 1.4 所示电路中的开关 S 断开时的状态。断路状态负载不工作，电路的电流 I 为零，此时电源不向负载供给电功率，即负载功率 $P_L = 0$ ，这种情况称为电源空载。电源空载时的端电压称为断路电压或开路电压，电源的开路电压 U 就等于电源电压 U_S 。

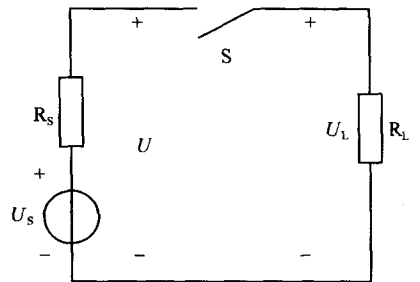


图 1.4 断路（开路状态）

1.3.3 短路（故障状态）

短路就是电源未经负载而直接由导线接通成闭合回路，如图 1.5 所示。图 1.5 中折线是指明短路点的符号，电源输出的电流就以短路点为回路而不流过负载。若忽略导线电阻，短路时回路中只存在电

源的内阻 R_S ，这时的电流称为短路电流为

$$I = \frac{U_S}{R_S}$$

因为电源内阻 R_S 一般比负载电阻小得多，所以短路电流总是很大。如果电源短路状态不迅速排除，则由于电流热效应，很大的短路电流将会烧毁电源、导线以及短路回路中接有的电流表、开关等，甚至引起火灾。所以电源短路是一种严重事故，应严加防止。为了避免短路事故引起严重后果，通常在电路中接入熔断器（保险丝）或自动断路器，以便在发生短路时能迅速将故障电源自动切断。

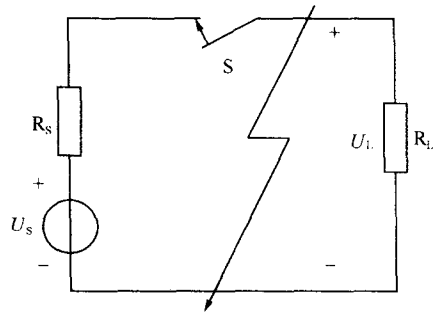


图 1.5 短路（故障状态）

【自己动手】 观察电路的 3 种状态（采用安全电压观察，观察时注意安全，每人 1 个电路）。

1.4 电路的基本物理量

电路模型建立起来以后，要正确分析或计算，还要用到一些基本的物理量。

1.4.1 电流

电流是电荷的定向移动。规定正电荷运动的方向为电流的实际方向。在电路中某一段电路里电流的实际方向有时很难判定。为了分析电路的方便，引入电流“参考方向”的概念。

在一段电路或一个电路元件中事先假定一个电流的方向，这个假定的方向叫做电流的“参考方向”。若电流的“参考方向”与实际方向相同，则电流值为正值，即 $I > 0$ 。如图 1.6 所示。若电流的“参考方向”与实际方向相反，则电流值为负值，即 $I < 0$ ，如图 1.7 所示。

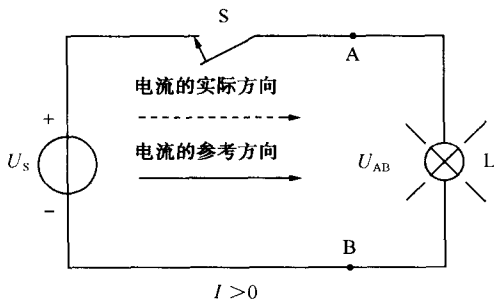


图 1.6 电流的“参考方向”与实际方向相同

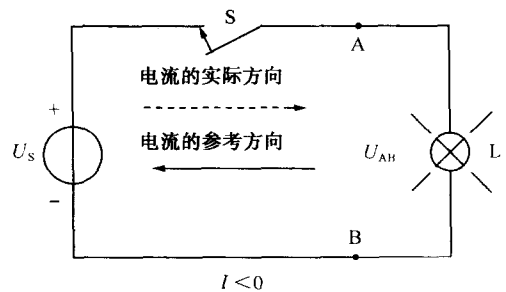


图 1.7 电流的“参考方向”与实际方向相反

【自己动手】 观察直流电流的实际大小和方向（用指针式万用表测量直流电流，观察指针偏摆的方向和幅度。改变电源的电压和正负极性，再测量 1 次，观察指针偏摆的幅度和方向。每人 1 个电路，1 块万用表）。

电流不仅有方向，还有大小，电流的大小用电流强度来度量，简称电流。

按照电流的方向和大小可分为两类：一类是方向和大小均不随时间变化的电流称为恒定电流，如图 1.8 所示，简称直流电流，它在单位时间内通过输电导线横截面的电荷量是不变

的，用 I 表示，即

$$I = \frac{q}{t} \quad (1.1)$$

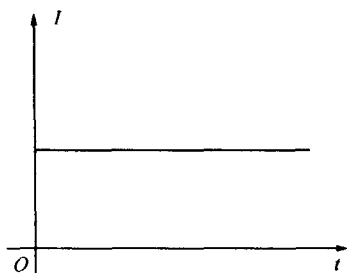


图 1.8 恒定电流

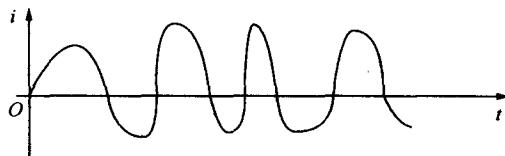


图 1.9 变动电流

另一类是方向和大小都随时间变化的电流称为变动电流，如图 1.9 所示。它的大小在不同时刻通过输电导线横截面的电荷量是变化的，用 i 表示，即

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1.2)$$

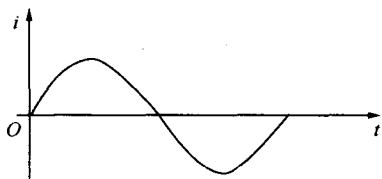
在国际单位制中，电荷 q 的单位是库仑，简称库，符号为 (C)，时间 t 的单位是秒，符号为 (s)，电流 i 的单位是安培，简称安，符号为 (A)，有时还用到千安 (kA)、毫安 (mA) 或微安 (μA)，换算关系如下：

$$1\text{kA} = 1\,000\text{A} = 10^3\text{A}$$

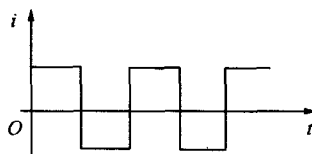
$$1\text{mA} = 10^{-3}\text{A}$$

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

在一个周期内，电流的平均值为零的变动电流称为交变电流，如图 1.10 所示，简称交流电流。



(a) 正弦交流电流



(b) 方波电流

图 1.10 交变电流

【自己动手】 用示波器观察交变电流的波形 (每人 1 个示波器)。

1.4.2 电压

我们知道水之所以流动是因为重力的作用，在电路中电荷之所以能定向移动，是由于电场力的作用。

在外电路中，正电荷受电场力作用由电源的“+”端通过负载移向电源的“-”端，正电荷所具有的电位能逐渐减小，从而把电能转换为其他形式的能，这个过程电场力做了功，做的功与被移动的电荷量的比值称为两端间的电压。电压的方向在内电路是由“-”指向“+”，在外电路是由“+”指向“-”。

和分析电流一样，有时很难对电路或元件中电压的实际方向做出判断，必须对电路或元件中两点之间的电压任意假定一个方向为“参考方向”，在电路中一般用实线箭头表示，箭头所指的方向为参考方向。有时电压的参考方向也用参考极性来表示，即在元件或电路两端用“+”和“-”符号表示，“+”号表示高电位端，叫正极，“-”号表示低电位端，叫负极，由正极指向负极的方向假定为电压的参考方向。当电压的“参考方向”与实际方向一致时，电压值为正，即 $U > 0$ ；反之，当电压的“参考方向”与实际方向相反时，电压值为负，即 $U < 0$ ，如图 1.11 所示。

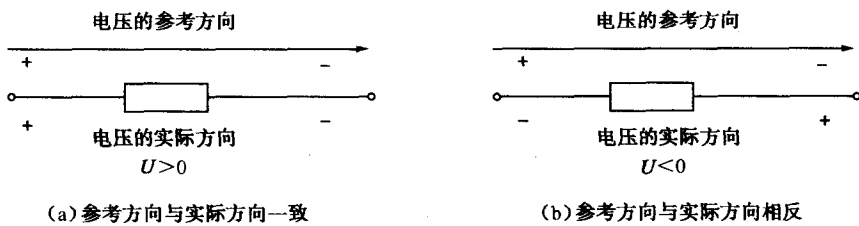


图 1.11 电压的“参考方向”与实际方向的关系

电压不仅有方向也有大小，按照方向和大小也分为两类：一类是方向和大小均不随时间变化的电压称为恒定电压，简称直流电压。它的大小：任一时间电场力对单位电荷做的功，用 U 表示，即

$$U = \frac{W}{q} \quad (1.3)$$

另一类是方向和大小都随时间变化的电压称为变动电压，其中一个周期内电压的平均值为零的变动电压称为交变电压，简称交流电压。它的大小：在不同时间内电场力对单位电荷做的功，用 u 表示，即

$$u = \frac{dW}{dq} \quad (1.4)$$

在国际单位制中，功 W 的单位为焦耳，简称焦，符号为 (J)；电荷 q 的单位是库仑，简称库，符号为 (C)；电压 u 的单位是伏特，简称伏，符号为 (V)，有时还需要用千伏 (kV)，毫伏 (mV) 或微伏 (μV) 做单位。换算关系如下：

$$\begin{aligned} 1\text{kV} &= 1\,000\text{V} = 10^3\text{V} \\ 1\text{mV} &= 10^{-3}\text{V} \\ 1\mu\text{V} &= 10^{-6}\text{V} \end{aligned}$$

一般情况下，电流参考方向的假定与电压参考方向的假定是无关系的。但是为了分析电路的方便起见，对一段电路或一个电路元件，如果假定电流的参考方向与电压的参考方向一致，

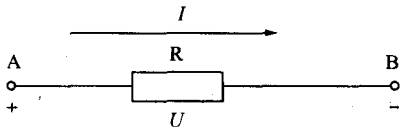


图 1.12 关联参考方向

即假定电流从标以电压“+”极性的一端流入，从标以电压“-”极性的另一端流出，则把电流和电压的这种参考方向称为关联参考方向，简称关联方向，如图 1.12 所示。

【自己动手】 观察直流电压的实际大小和方向（用指针式万用表测量直流电压，观察指针偏摆的方向和幅度。改变电源电压的大小和正负极性，再测量 1 次，观察指针偏摆的幅度和方向。每人 1 个电路，1 块万用表）。

1.4.3 功率

直流电情况下，在时间 t 内，电压 U_{AB} 使电荷 q 从 A 点移到 B 点形成电流 I 并做了功 W_{AB} 。我们称单位时间内做的功为电功率，简称功率，功率用符号 P 表示，公式如下：

$$P = \frac{W_{AB}}{t} = \frac{W_{AB}}{q} \frac{q}{t} = UI \quad (1.5)$$

在电压和电流关联参考方向下，当计算出功率值为正，即 $P > 0$ 时，表明元件是吸收或消耗电能；当计算出功率值为负，即 $P < 0$ 时，表明元件是发出电能，若在非关联参考方向下，即

$$P = -UI$$

这样规定之后，若 $P > 0$ 时，表明元件吸收或消耗电能；若 $P < 0$ 时，表明元件发出电能。在国际单位制中，功率的单位为瓦特，简称瓦，符号为 (W)，有时还用到千瓦 (kW)。功率只有正负，没有方向。换算关系如下：

$$1\text{kW} = 1\,000\text{W} = 10^3\text{W}$$

【自己动手】 用相同电压的电池、不同功率的灯泡观察灯泡亮度。通电一段时间后断电测量电池的电压（每人 1 个安全电压电路，1 块万用表）。

1.4.4 电能

在实际应用中，常用到电能这个物理量，电能的单位常用千瓦时 (kW·h) 或度表示，1kW·h 的电能通常叫做一度电。一度电为 $1\text{kW} \times 1\text{h} = 1000\text{W} \times 3600\text{s} = 3.6 \times 10^6\text{J}$ 。

在直流电路中，负载上的功率不随时间变化，则电路消耗的电能

$$W = Pt \quad (1.6)$$

若功率的单位为瓦 (W)，时间的单位为秒 (s)，则电能的单位为焦耳 (J)。

【自己动手】 用相同电压的电池、不同功率的灯泡，在相同时间内测量灯泡温度（每人 1 个安全电压电路，1 块万用表，1 只温度计）。

1.4.5 电阻

电荷在电场力作用下沿输电体做定向运动时要受到阻碍作用，这种阻碍作用称为输电体的电阻，用符号 R 来表示。电阻的单位是欧姆 (Ω)，有时用到千欧 (k Ω)、兆欧 (M Ω)，换