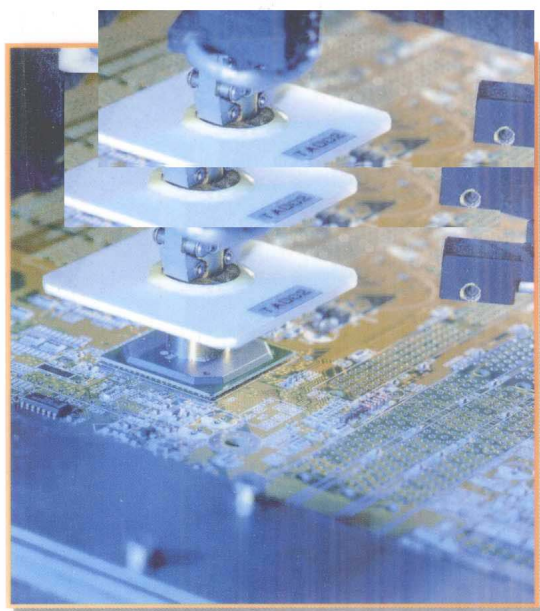


电工与电子技术

程 周 主编 吕景泉 主审

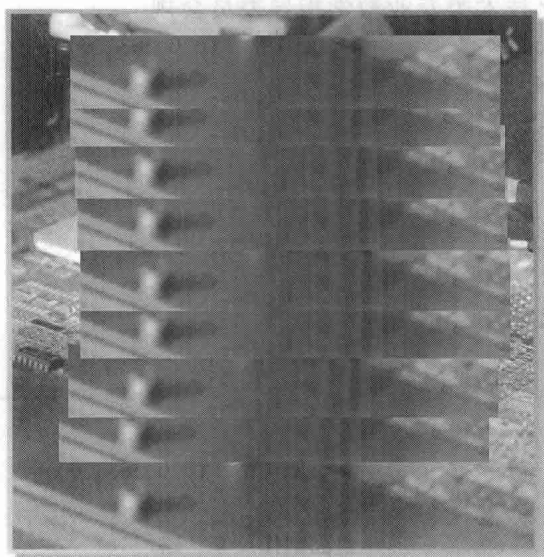


DIANGONG YU DIANZIJI SHU



电工与电子技术

程 周 主编 吕景泉 主审



DIANGONG YU DIANZIJISHU

内 容 简 介

本书参照教育部颁布的有关电工与电子技术教学文件、职业资格标准及行业职业技能鉴定标准,在总结上一轮高等职业教育教学改革经验的基础上,贯彻“以服务为宗旨,以就业为导向,以能力为本位”的职业教育办学指导思想,并参考目前流行的国外职业教育教材编写而成。

本书主要包括直流电路、单相正弦交流电路、三相交流电路、磁路与变压器、电动机、低压电器与电气基本控制、现代控制技术、供电及安全用电、半导体器件、整流与稳压电路、放大电路和集成运算放大器、数字电子技术基础、组合与时序逻辑电路、数字电路的应用等。

本书适合作为高等职业院校机电技术应用类、机械制造类等非电类专业选用,也可作为岗位培训用书。

图书在版编目(CIP)数据

电工与电子技术/程周主编. --北京:中国铁道出版社, 2010.5

教育部高职高专自动化技术类专业教学指导委员会规划教材. 全国高职高专院校机电类专业规划教材

ISBN 978-7-113-11434-3

I. ①电… II. ①程… 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. ①TM ②TN

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第090036号

书 名: 电工与电子技术

作 者: 程周 主编

策划编辑: 秦绪好

责任编辑: 秦绪好

编辑部电话: (010) 63560056

编辑助理: 郝霁江

封面设计: 付 巍

封面制作: 李 路

责任印制: 李 佳

出版发行: 中国铁道出版社(北京市宣武区右安门西街8号 邮政编码: 100054)

印 刷: 河北省遵化市胶印厂

版 次: 2010年7月第1版 2010年7月第1次印刷

开 本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 18.25 字数: 442千

印 数: 3 000册

书 号: ISBN 978-7-113-11434-3

定 价: 29.00元

版权所有 侵权必究

本书封面贴有中国铁道出版社激光防伪标签,无标签者不得销售

凡购买铁道版图书,如有印制质量问题,请与本社计算机图书批销部联系调换。

全国高职高专院校机电类专业规划教材

编审委员会

主任：吕景泉

副主任：严晓舟 史丽萍

委员：（按姓氏笔画排序）

王文义	刘建超	肖方晨	李向东	狄建雄
汪敏生	宋淑海	张耀	明立军	陈铁牛
钟江生	胡学同	凌艺春	秦绪好	钱逸秋
梁荣新	常晓玲	程周	谭有广	

王立	王龙义	王建明	牛云陞	关健
朱凤芝	牟志华	汤晓华	刘薇娥	李文
李军	张文明	张永花	陆建国	陈丽
林嵩	金卫国	宝爱群	姚吉	姚永刚
祝瑞花	徐国林	秦益霖	韩丽	曾照香

随着我国高等职业教育改革的不断深入,我国高等职业教育的发展进入了一个新的阶段。教育部下发的《关于全面提高高等职业教育教学质量的若干意见》教高[2006]16号文件,旨在阐述社会发展对高素质技能型人才的需求,以及如何推进高职人才培养模式改革,提高人才培养质量。

教材的出版工作是整个高等职业院校教育教学工作中的重要组成部分,教材是课程内容和课程体系的载体,对课程改革和建设具有推动作用,所以提高课程教学水平和教学质量的关键在于出版高水平、高质量的教材。

出版面向高等职业教育的“以就业为导向,以能力为本位”的优质教材一直就是中国铁道出版社优先开发的领域。我社本着“依靠专家、研究先行、服务为本、打造精品”的出版理念,于2007年成立了“中国铁道出版社高职机电类课程建设研究组”,并经过两年的充分调查研究,策划编写、出版了本系列教材。

本系列教材主要涵盖高职高专机电类的公共课及六个专业的相关课程,它们是电气自动化专业、机电一体化专业、生产过程自动化专业、数控技术专业、模具设计与制造专业以及数控设备应用与维护专业。它们共同成为体系,又具有相对独立性。本系列教材在编写过程中邀请了高职高专自动化教指委专家、国家级教学名师、精品课负责人、知名专家教授、学术带头人及骨干教师。他们针对相关专业的课程,结合了多年教学中的实践经验,同时吸取了高等职业教育改革的成果,因此无论教学理念的导向、教学标准的开发、教学体系的确立、教材内容的筛选、教材结构的设计,还是教材素材的选择都极具特色。

本系列教材的特点归纳如下:

(1) 围绕培养学生的职业技能这条主线设计教材的结构,理论联系实际,从应用的角度组织编写内容,突出实用性,并同时注意将新技术、新成果纳入教材。

(2) 根据机电类课程的特点,对基本理论和方法的讲述力求简单、易于理解,以缓解繁多的知识内容与偏少的学时之间的矛盾。同时,增加了相关技术在实际生产、生活中的应用实例,从而激发学生的学习热情。

(3) 将“问题引导式”、“案例式”、“任务驱动式”、“项目驱动式”等多种教学方法引入教材体例的设计中,融入启发式的教学方法,力求好教、好学、爱学。

(4) 注重立体化教材的建设。本系列教材通过主教材、配套光盘、电子教案等教学资源的有机结合,来提高教学服务水平。

总之,本系列教材在策划出版过程中得到了教育部高职高专自动化技术专业教学指导委员会委员以及广大专家的指导和帮助,在此表示深深的感谢。希望本系列丛书的出版能为我国高等职业院校教育改革起到良好的推动作用,欢迎使用本系列教材的老师和同学们提出宝贵的意见和建议。书中如有不妥之处,敬请批评指正。

中国铁道出版社

本书采用以问题为中心的模式进行编写,注重对电工与电子技术基础知识的掌握和对技能的训练。

本书抓住高等职业教育的特点,内容符合教学规律,结构符合高等职业的教育要求。本书对理论知识做“淡化”处理,而对实际技能做“强化”处理。内容包含工程技术应用的基础知识与中高级技能型、应用型人才应该具备的专业知识,强调基础知识与技术应用之间的关系,力图做到各部分知识内容比例协调,深浅适宜。选材上融入高等职业教育的理念,体现以就业为导向,适应社会发展和科学进步的需要。

本书中对有关的电路定理、定律尽量避免出现不必要的理论推导,而突出正确理解和实际使用;对变压器、电动机等则进一步简化了内部的工作原理;对于电子电路则加强集成电路方面的内容,特别是集成电路的应用。本书没有编写难度较大、求解过程较复杂的例题和习题,而选用那些具有工程意义、与实际应用紧密相连的题目。学生通过完成这些题目,可以加深对教材内容的理解以及对工程方面的了解。

本书根据学生的年龄特点,语言活泼生动,并增加图表作为辅助说明,例如,对原先一些只有原理图或结构图的元器件,增加了外形图。并且本书进一步规范了教材中的名词术语、图形符号等,使之更加符合国家标准。

本书每章分为四个部分,即学习目标、主体内容、本章小结和习题。

(1) 学习目标

根据原来教学要求中采用的“知道”、“描述”和“解释”三种不同层面的教学要求,从教学目标上对学生提出更加符合职业教育特色的要求。具体含义如下:

- “知道”层面:是对知识点和教学内容的最低要求,学生可以知道其概貌,当再次接触这些知识点时,能有所印象即可。
- “描述”层面:指学生能对所学内容进行复述,能大致说出所学的主干内容,与“知道”层面相比,更强调记忆某些知识的要求。
- “解释”层面:指能对所学的内容说清楚来龙去脉,大体上说清楚“为什么”、“怎么做”,是三个层面中要求最高的一个层面,这部分内容占全书的比重不大。

(2) 主体内容

本部分主要是知识点的传授、延伸和扩展,着重介绍理论知识在实际生产和生活中的应用,使学生在专业基础课程学习的同时,对专业知识有所了解,以培养对后续专业课程学习的兴趣。主要在拓宽知识面、增加应用性和加深教材理解上做了一些探索。

“观察与思考”:在每节内容前利用该栏目对本节内容进行引入,以告诉学生“为什么”要学习该内容。

(3) 本章小结

每章后面的小结部分分成三个层面,对学生复习本章内容提出相对具体的要求,与章前的学习目标要求相对应。具体分为:

- “尽量记住下面的公式,关键是用”。这部分内容是要求学生记忆的,先解决基本知识的

记忆，进而才能用公式解决问题。

● “下面的概念对本章的学习很重要，你应能正确地描述出来”，要求能够描述事物的特征、外貌和概念，是要求学生在课堂上听懂的知识，但并不需要很精确描述。

● “下面的知识与后续课程有关，学会它将有利于专业课的掌握”。这些内容与本书后续内容，或后续专业课程的内容关系比较密切，要求学生能够较全面掌握，否则会给继续学习带来较大的困难。

（4）习题

在习题选用上，本书重点考虑与实际应用相结合，使学生在做习题巩固知识的同时，进一步了解电工电子知识在生产和生活中的应用。另外，体现分层教学，兼顾职业技能鉴定。

本书全部内容约 120 学时，电工部分内容约 60 学时，电子部分内容约 60 学时。各专业可以根据专业要求和教学具体情况选学不同的内容。参考学时分配建议见下表：

序 号	内 容	建议学时数（含实验、实训）
1	直流电路	14
2	单相正弦交流电路	12
3	三相交流电路	6
4	磁路与变压器	6
5	电动机	8
6	低压电器与电气基本控制	10
7	现代控制技术	5
8	供电及安全用电	3
9	半导体器件	7
10	整流与稳压电路	5
11	放大电路和集成运算放大器	18
12	数字电子技术基础	7
13	组合与时序逻辑电路	9
14	数字电路的应用	4
15	其他	6
	合计	120

本书由安徽职业技术学院电气工程系程周主编并统稿。由安徽职业技术学院电气工程系程周编写第 1、2、7、11 章，由安徽职业技术学院电气工程系尹晓落编写第 4、5、9 章，由安徽职业技术学院电气工程系杨洁霞编写第 3、6、8、10 章，由安徽职业技术学院电气工程系胡继胜编写第 12、13、14 章，安徽职业技术学院电气工程系常辉提供本书部分“观察与思考”内容。本书由天津中德职业技术学院吕景泉教授主审，他以高度负责的精神，认真仔细审看书稿，并提出了许多宝贵的修改意见。

由于时间仓促，加之编者水平有限，书中难免存在疏漏与不足之处，恳请广大读者批评指正。联系电子邮箱：ahchzh@163.com。

编 者
2010 年 4 月

第 1 章 直流电路	1
1.1 电路的作用与组成	1
1.2 电路的常用物理量	2
1.2.1 电流及参考方向	2
1.2.2 电位及电压	3
1.2.3 电动势	4
1.2.4 电能和电功率	4
1.3 欧姆定律	5
1.3.1 部分电路欧姆定律	5
1.3.2 全电路欧姆定律	6
1.3.3 电路的状态	6
1.4 电阻的特性与应用	7
1.4.1 电阻率	7
1.4.2 温度变化对电阻的影响	8
1.4.3 电阻的电流、电压关系	9
1.4.4 线性电阻和非线性电阻	9
1.5 串联和并联电路	11
1.5.1 串联电路	11
1.5.2 并联电路	13
1.5.3 电阻的混联	14
1.6 基尔霍夫定律	15
1.6.1 基尔霍夫定律的基本概念	15
1.6.2 基尔霍夫定律	16
1.7 电压源和电流源	17
1.7.1 理想电压源和理想电流源	17
1.7.2 实际电压源和实际电流源	18
1.7.3 两种实际电源模型的等效变换	18
1.8 支路电流法	20
1.9 戴维宁定理	22
1.10 叠加定理	24
1.11 电阻性负载的最大功率定理	25
本章小结	27
习题	29

第 2 章	单相正弦交流电路	32
2.1	正弦量的基本概念	32
2.1.1	周期、频率和角频率	33
2.1.2	瞬时值、最大值和有效值	33
2.1.3	相位及初相	34
2.2	正弦交流电的相量表示法	36
2.2.1	复数的概念	36
2.2.2	复数的四种形式	36
2.2.3	复数的运算	37
2.2.4	正弦量的相量表示法	37
2.2.5	正弦量的加、减运算	38
2.3	纯电阻电路	39
2.3.1	电压和电流的关系	39
2.3.2	功率	40
2.4	纯电感电路	41
2.4.1	电流与电压的关系	41
2.4.2	功率	42
2.5	纯电容电路	44
2.5.1	电流和电压的关系	44
2.5.2	功率	45
2.6	R 、 L 、 C 串联电路及谐振	47
2.6.1	电流与电压的关系	47
2.6.2	功率	48
2.6.3	电路呈现的三种性质	50
2.6.4	串联谐振	52
2.7	功率因数的提高	56
2.7.1	功率因数	56
2.7.2	功率因数提高的意义	57
2.7.3	提高功率因数的方法	57
	本章小结	59
	习题	61
第 3 章	三相交流电路	64
3.1	三相交流电源	64
3.2	三相电源的联结	65
3.2.1	三相电源的星形联结	66
3.2.2	三相电源的三角形联结	67
3.3	三相负载的联结	68
3.3.1	三相负载星形联结及中性线作用	68

3.3.2 对称负载的三角形联结	71
3.4 三相电功率	73
本章小结	76
习题	76
第4章 磁路与变压器	78
4.1 磁路的基本概念和基本定律	78
4.1.1 磁场强度和磁导率	78
4.1.2 磁路	79
4.1.3 磁动势	80
4.1.4 磁路欧姆定律	80
4.2 铁磁材料的磁化	81
4.2.1 磁化曲线	81
4.2.2 铁磁材料的磁滞回线	82
4.2.3 铁磁材料的分类及应用	82
4.2.4 涡流	83
4.3 变压器的基本结构与工作原理	84
4.3.1 变压器基本结构	84
4.3.2 变压器的工作原理	85
4.3.3 变压器的功率和效率	86
4.4 三相电力变压器	87
4.5 特种变压器	89
4.5.1 自耦变压器	89
4.5.2 互感器	90
4.5.3 电焊变压器	92
本章小结	92
习题	93
第5章 电动机	95
5.1 三相交流异步电动机	95
5.1.1 三相交流异步电动机的基本原理	95
5.1.2 三相交流异步电动机的基本结构与类型	97
5.1.3 三相交流异步电动机的额定值与型号	99
5.1.4 三相交流异步电动机的工作特性	100
5.2 单相交流异步电动机	100
5.2.1 单相交流异步电动机的工作原理与机械特性	101
5.2.2 单相交流异步电动机的启动	102
5.3 直流电动机	104
5.3.1 直流电机的工作原理	104
5.3.2 直流电机的基本结构	107



5.3.3	直流电机的励磁方式	109
5.3.4	直流电机的铭牌数据及系列	110
5.4	测速发电机	111
5.4.1	直流测速发电机	111
5.4.2	交流测速发电机	112
5.5	伺服电动机	113
5.5.1	直流伺服电动机	113
5.5.2	交流伺服电动机	114
	本章小结	115
	习题	116

第6章 低压电器与电气基本控制 **119**

6.1	手动控制起动	119
6.1.1	刀开关	119
6.1.2	熔断器	121
6.1.3	空气断路器	122
6.1.4	手动直接起动控制线路	123
6.2	点动与长动控制	123
6.2.1	按钮	124
6.2.2	接触器	125
6.2.3	点动控制线路	126
6.2.4	热继电器	127
6.2.5	长动控制线路	128
6.2.6	点动与长动控制线路	129
6.3	正、反转控制	130
6.3.1	接触器互锁（电气互锁）的正、反转控制线路	130
6.3.2	按钮互锁（机械互锁）正、反转控制线路	131
6.3.3	双重互锁的正、反转控制线路	132
6.4	时间控制	132
6.5	行程控制	135
6.5.1	行程开关	135
6.5.2	行程控制	136
6.6	三相笼型异步电动机降压起动控制	137
6.6.1	三相笼型异步电动机降压起动控制	137
6.6.2	星形-三角形降压起动控制	139
6.7	三相笼型异步电动机制动控制	140
6.7.1	速度继电器	140
6.7.2	反接制动控制线路	141
	本章小结	142
	习题	142

第 7 章	现代控制技术	145
7.1	变频器	145
7.1.1	变频器的基本结构与工作原理	145
7.1.2	变频器的安装与接线	148
7.2	传感器	150
7.2.1	传感器的组成与分类	151
7.2.2	常用传感器	151
	本章小结	154
	习题	154
第 8 章	供电及安全用电	156
8.1	电力系统及供电质量	156
8.2	安全用电常识	157
8.2.1	人体触电	158
8.2.2	使用电气设备时防止触电的保护措施	159
8.2.3	触电急救	160
8.3	电气火灾的防范及扑救常识	161
8.4	节约用电	161
8.4.1	计划用电	161
8.4.2	节约用电	162
	本章小结	162
	习题	163
第 9 章	半导体器件	164
9.1	晶体二极管	164
9.1.1	二极管的外形、结构与符号	164
9.1.2	二极管的电流、电压关系	165
9.1.3	二极管的主要参数	167
9.1.4	发光二极管	167
9.1.5	光电二极管	168
9.1.6	稳压二极管	168
9.2	晶体三极管	169
9.2.1	晶体管的外形、结构和符号	169
9.2.2	晶体管的放大作用	170
9.2.3	晶体管的极限参数	171
9.3	晶体管的三种工作状态	171
9.3.1	放大状态	171
9.3.2	饱和状态	172
9.3.3	截止状态	173
9.4	晶闸管	174

9.4.1	晶闸管的外形、结构和符号	174
9.4.2	晶闸管的工作原理	175
9.4.3	晶闸管的主要参数	176
本章小结		176
习题		176
第 10 章 整流与稳压电路		179
10.1	单相桥式整流电路	179
10.2	滤波电路	181
10.2.1	电容滤波电路	181
10.2.2	电感滤波电路	182
10.2.3	多级滤波电路	182
10.3	晶闸管单相可控整流电路	182
10.4	稳压电路	184
10.4.1	并联型稳压电路	184
10.4.2	串联型稳压电路	185
10.4.3	集成稳压器	185
10.5	交流调压电路	186
本章小结		187
习题		187
第 11 章 放大电路和集成运算放大器		189
11.1	共发射极单管放大电路	189
11.1.1	共发射极单管放大电路的结构	189
11.1.2	共发射极单管放大电路的工作原理	190
11.1.3	静态工作点的选择与波形失真	192
11.1.4	静态工作点的稳定	193
11.1.5	电压放大倍数、输入电阻和输出电阻	193
11.2	多级放大电路	195
*11.3	场效应晶体管及放大电路	197
11.3.1	场效应晶体管	197
11.3.2	场效应管放大电路	199
11.4	射极输出器	199
11.4.1	电压放大倍数、输入电阻和输出电阻	199
11.4.2	射极输出器的应用	200
11.5	功率放大器	201
11.5.1	功率放大器的概念	201
*11.5.2	互补对称功率放大器 (OCL 电路)	202
*11.6	差分放大器	203
11.6.1	直耦放大电路的“零点漂移”	203

11.6.2	差分放大器	203
11.7	运算放大器	204
11.7.1	运算放大器的结构和特点	204
11.7.2	理想运算放大器	205
11.7.3	运算放大器组成的基本运算电路	206
11.8	放大电路中的负反馈	208
11.8.1	负反馈的概念	208
11.8.2	反馈的极性判断	209
11.8.3	直流负反馈	209
11.8.4	负反馈放大电路的组态	209
11.8.5	负反馈对放大器性能的影响	211
11.9	正弦波振荡器	212
11.9.1	正弦波振荡器的基本原理	212
11.9.2	RC 正弦波振荡器	213
11.9.3	LC 正弦波振荡器	214
11.9.4	石英晶体正弦波振荡器	215
*11.10	可控整流的触发电路	216
11.10.1	单结晶体管	216
11.10.2	单结晶体管振荡电路	217
11.10.3	单结晶体管的触发电路	217
	本章小结	219
	习题	220
第 12 章	数字电子技术基础	223
12.1	基础知识	223
12.1.1	数字电路的特点	223
12.1.2	数制与码制	224
12.1.3	逻辑代数	226
12.2	集成逻辑门电路	233
12.2.1	TTL 集成与非门	233
12.2.2	CMOS 集成门电路	236
	本章小结	239
	习题	240
第 13 章	组合与时序逻辑电路	242
13.1	编码器	242
13.1.1	二进制编码器	242
13.1.2	优先编码器	243
13.2	译码器	245
13.2.1	二进制译码器	245

13.2.2	显示译码器	246
13.3	触发器	248
13.3.1	基本 RS 触发器	248
13.3.2	边沿触发器	251
13.4	计数器	252
13.4.1	同步计数器	252
13.4.2	异步计数器	253
13.4.3	任意进制计数器	254
13.5	寄存器	256
13.5.1	数据寄存器	256
13.5.2	移位寄存器	256
13.5.3	寄存器的应用	257
	本章小结	258
	习题	259
第 14 章	数字电路的应用	263
14.1	555 应用电路	263
14.1.1	555 定时器的结构与工作原理	263
14.1.2	555 定时器的应用	264
14.2	A/D、D/A 转换器的应用	265
14.2.1	D/A 转换器	266
14.2.2	A/D 转换器	269
	本章小结	274
	习题	275
参考文献		277

第1章

直流电路

学习目标

- 了解电路的基本结构、电阻器、电阻与温度的关系及非线性电阻的概念。
- 描述电路中的常用物理量、欧姆定律。
- 解释电阻串联、并联和混联的作用及电路特点。
- 解释基尔霍夫定律，并会用基尔霍夫电流和电压定律求解电路参数。
- 描述电压源与电流源的概念及其简单等效变换。
- 解释支路电流法，并会运用支路电流法求解电路参数。
- 了解戴维宁定理、叠加定理，并会运用定理求解电路参数。
- 描述电阻性负载的最大功率定理。解释传输最大功率的意义。

1.1 电路的作用与组成

观察与思考

观察图 1-1 (a) 所示的电路实物图，按下开关时，电珠就会发光。电珠为何会发光？显然是因为有电流流过电珠，电流是通过哪些环节由电池流到电珠的？每个环节的作用是什么？这些环节能够构成电路吗？

观察图 1-1 (a) 可见，电路由电源、负载、连接导线和开关组成。

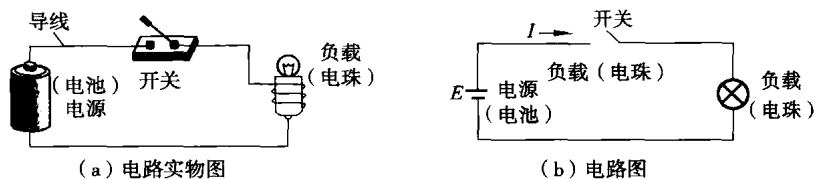


图 1-1 电路的实物图与电路图

什么是电源？在电路中将非电能转换成电能的供电设备称为电源。例如，光电池将太阳能转换成电能、发电机将机械能转换成电能等。负载是将电能转换成非电能的设备。例如，电动机将电能转换成机械能、电炉将电能转换成热能等。连接导线起着传送信号、传输电能的作用。

实际应用中，电路除了电源、负载和连接导线外，还必须有一些辅助设备，例如控制电

路通、断的开关及保障安全用电的熔断器等,开关的作用是接通或切断电路。这些辅助设备不仅保证了电路安全、可靠地工作,而且使电路自动完成某些特定工作成为可能。

在实际工作中为了便于交流,常将实际电路中的各种元器件用规定的图形符号和文字符号表示电路的连接情况,这种图形称为电路图。图 1-1 (b) 所示为图 1-1 (a) 的电路图。

电路图的文字符号和图形符号有严格的规定,表 1-1 所示为电路图中几种常用器件的图形符号和文字符号。

表 1-1 电路图中几种常用的图形符号和文字符号

名 称	图 形 符 号	文 字 符 号	名 称	图 形 符 号	文 字 符 号
固定电阻		R	白炽灯		EL
可变电阻		R	开关		S
电位器		R_p	直流电源		E
电感		L	电容		C
熔断器		FU	晶体管		VT

1.2 电路的常用物理量



观察与思考

电能驱动汽车奔驰,也能使剃须刀旋转,它们都可以构成独立的电路,但是效果是不同的,实际上其内部都有电流、电压,那么电路中要产生电流需要什么条件?电源向不同的用电器供电有什么特点?不同电源、不同负载的组合会产生不同的效果,可以用电路的物理量来表征这种差异。为了进一步研究电路的规律,我们需要掌握电路的常用物理量。

1.2.1 电流及参考方向

当电路中有电流时,电珠就会发光,那么,电流是怎么回事呢?如何确定电流的大小和方向呢?

带电粒子的定向移动形成电流。而带电粒子可以是金属导体中的自由电子,也可以是电解液中的正、负离子。电流既可以是负电荷,也可以是正电荷或者是两者兼有的定向移动的结果。习惯上规定正电荷移动的方向为电流的方向(实际方向)。

电流的大小是用电流强度来衡量的。电流强度(电流) I 是指单位时间内通过某一导体横截面的电荷量 q ,即

$$I = \frac{q}{t}$$

在进行电路分析计算时,电流的实际方向有时难以确定,为此可以预先假定一个电流方向,称为参考方向(也称为正方向),并在电路中用箭头标出。求解电路电流时应根据假定的