



全国高等职业教育规划教材

电路基础

主 编 吴 敏
副主编 熊小刚
参 编 蒲 海

- 引入工程实践
- 突出基本概念
- 注重技能训练



电子教案下载网址 www.cmpedu.com



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

全国高等职业教育规划教材

电 路 基 础

主 编 吴 敏
副主编 熊小刚
参 编 蒲 海



机械工业出版社

本书包括电路的基本知识、直流电阻电路、磁场及其与电流的作用、电磁感应、电容及瞬态过程、正弦交流电及其电路、三相交流电路、信号与系统概述共 8 章内容。每章给出了一些典型和新型的应用实例，并设置了相应的实验及习题，目的是让读者易于理解和掌握所学的理论知识，提高实践操作能力。本书还设置了知识拓展环节，以拓展学生的知识面。

本书内容全面、新颖，家用性强，可作为高职高专院校机电类、电子信息类、电气类、制冷与空调技术类、家用电器类等专业的教材。除去带※的选学内容后，还可以作为中等职业技术学校、职业中学和岗位培训的教材或参考书。

本书配套授课电子教案，需要的教师可登录 www.cmpedu.com 免费注册、审核通过后下载，或联系编辑索取（QQ: 1239258369，电话: 010-88379739）。

图书在版编目(CIP)数据

电路基础/吴敏主编. —北京: 机械工业出版社, 2013. 5

全国高等职业教育规划教材

ISBN 978-7-111-41923-5

I. ①电… II. ①吴… III. ①电路理论—高等职业教育—教材
IV. ①TM13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 058768 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 王颖 版式设计: 潘蕊

责任校对: 陈越 责任印制: 杨曦

北京中兴印刷有限公司印刷

2013 年 6 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm · 13 印张 · 318 千字

0001—3 000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-41923-5

定价: 29.80 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心: (010) 88361066 教材网: <http://www.cmpedu.com>

销售一部: (010) 68326294 机工官网: <http://www.cmpbook.com>

销售二部: (010) 88379649 机工官博: <http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线: (010) 88379203 封面无防伪标均为盗版

全国高等职业教育规划教材 电子类专业编委会成员名单

主 任 曹建林

副 主 任 张中洲 张福强 董维佳 俞 宁 杨元挺 任德齐
华永平 吴元凯 蒋蒙安 祖 炬 梁永生

委 员 (按姓氏笔画排序)

于宝明	尹立贤	王用伦	王树忠	王新新	任艳君
刘 松	刘 勇	华天京	吉雪峰	孙学耕	孙津平
孙 萍	朱咏梅	朱晓红	齐 虹	张静之	李菊芳
杨打生	杨国华	汪赵强	陈子聪	陈必群	陈晓文
季顺宁	罗厚军	胡克满	姚建永	钮文良	聂开俊
夏西泉	袁启昌	郭 勇	郭 兵	郭雄艺	高 健
曹 毅	章大钧	黄永定	曾晓宏	谭克清	戴红霞

秘 书 长 胡毓坚

副秘书长 蔡建军

出版说明

根据《教育部关于以就业为导向深化高等职业教育改革的若干意见》中提出的高等职业院校必须把培养学生动手能力、实践能力和可持续发展能力放在突出的地位，促进学生技能的培养，以及教材内容要紧密结合生产实际，并注意及时跟踪先进技术的发展等指导精神，机械工业出版社组织全国近 60 所高等职业院校的骨干教师对在 2001 年出版的“面向 21 世纪高职高专系列教材”进行了全面的修订和增补，并更名为“全国高等职业教育规划教材”。

本系列教材是由高职高专计算机专业、电子技术专业和机电专业教材编委会分别会同各高职高专院校的一线骨干教师，针对相关专业的课程设置，融合教学中的实践经验，同时吸收高等职业教育改革的成果而编写完成的，具有“定位准确、注重能力、内容创新、结构合理和叙述通俗”的编写特色。在几年的教学实践中，本系列教材获得了较高的评价，并有多品种被评为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。在修订和增补过程中，除了保持原有特色外，针对课程的不同性质采取了不同的优化措施。其中，核心基础课的教材在保持扎实的理论基础的同时，增加实训和习题；实践性较强的课程强调理论与实训紧密结合；涉及实用技术的课程则在教材中引入了最新的知识、技术、工艺和方法。同时，根据实际教学的需要对部分课程进行了整合。

归纳起来，本系列教材具有以下特点：

- 1) 围绕培养学生的职业技能这条主线来设计教材的结构、内容和形式。
- 2) 合理安排基础知识和实践知识的比例。基础知识以“必需、够用”为度，强调专业技术应用能力的训练，适当增加实训环节。
- 3) 符合高职学生的学习特点和认知规律。对基本理论和方法的论述要容易理解、清晰简洁，多用图表来表达信息；增加相关技术在生产中的应用实例，引导学生主动学习。
- 4) 教材内容紧随技术和经济的发展而更新，及时将新知识、新技术、新工艺和新案例等引入教材。同时注重吸收最新的教学理念，并积极支持新专业的教材建设。
- 5) 注重立体化教材建设。通过主教材、电子教案、配套素材光盘、实训指导和习题及解答等教学资源的有机结合，提高教学服务水平，为高素质技能型人才的培养创造良好的条件。

由于我国高等职业教育改革和发展的速度很快，加之我们的水平和经验有限，因此在教材的编写和出版过程中难免出现问题和错误。我们恳请使用这套教材的师生及时向我们反馈质量信息，以利于我们今后不断提高教材的出版质量，为广大师生提供更多、更适用的教材。

机械工业出版社

前 言

本书结合我国高职高专教育的实际情况，体现高职高专教育的特点，在基本理论的叙述上力求通俗易懂、深入浅出、突出应用。

本书是高职高专电类相关专业的专业基础课程。通过本课程的学习，学生可掌握必要的基础理论、基本知识和基本技能，了解电路发展的概况，为学习后续课程以及从事相关的工程技术和科学研究工作打下良好的理论和实践基础。全书共分为 8 章，系统全面地介绍了电路的基本知识、直流电阻电路、磁场及其与电流的作用、电磁感应、电容及瞬态过程、正弦交流电及其电路、三相交流电路、信号与系统概述的内容。

本书内容全面、新颖、实用性强。在内容编排上，采用任务导向的方式，基础理论知识由浅入深、原理清晰。在重点介绍电路基础知识的同时，每章给出了一些典型和新型的应用实例，并设置了相应的实验及习题，目的是让学生易于理解和掌握所学的理论知识，提高实践操作能力。本书还设置了知识拓展环节，以拓展学生的知识面。

本书教学内容共需 102 学时，课时分配方案可参见下表。

章 次	学时数	章 次	学时数	章 次	学时数
第 1 章	10	第 4 章	12	第 7 章	14
第 2 章	16	第 5 章	12	第 8 章	10
第 3 章	12	第 6 章	16		

书中标有※的章节，属于加宽或加深内容，供不同院校和专业选用。

本书由重庆工贸职业技术学院吴敏担任主编，负责全书的组织策划、修改补充、统稿和定稿工作，并编写了第 1 章、第 2 章、第 3 章、第 4 章、第 7 章；重庆工贸职业技术学院熊小刚担任副主编，并编写了第 6 章；重庆工贸职业技术学院蒲海参编，并编写了第 5 章和第 8 章。

编者在编写本书过程中参阅了大量文献，在此谨向这些原著者表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，加之编写时间仓促，书中难免存在不妥和疏漏之处，敬请读者给予批评指正。

编 者

目 录

出版说明

前言

第 1 章 电路的基本知识	1
1.1 电路和电路模型	1
1.1.1 电路	1
1.1.2 电路模型	2
1.2 电路的基本物理量	3
1.2.1 电流	3
1.2.2 电压与电动势	4
1.2.3 电位	4
1.2.4 电动势	5
1.3 电阻和电阻定律	6
1.3.1 物质的分类	6
1.3.2 电阻	6
1.3.3 电阻定律	6
1.3.4 电阻与温度的关系	7
1.4 欧姆定律	8
1.4.1 部分电路欧姆定律	8
1.4.2 全电路欧姆定律	8
1.5 电能、电功率和电流的热效应	9
1.5.1 电能	9
1.5.2 电功率	10
1.5.3 焦耳定律	10
1.6 负载获得的最大功率	11
1.7 知识拓展	12
1.7.1 超导现象简介	12
1.7.2 导线和绝缘材料	13
1.7.3 电阻器	14
1.7.4 电能和电热的关系	16
1.8 本章小结	16
1.9 实验 1——万用表的使用	17
1.9.1 实验目的	17
1.9.2 实验器材	18
1.9.3 实验步骤	18
1.9.4 思考题	19

1.10 实验 2——用伏安法测电阻	19
1.10.1 实验目的	19
1.10.2 实验器材	19
1.10.3 实验步骤	19
1.10.4 思考题	20
1.10.5 注意事项	20
1.11 实验 3——电源电动势和内阻的测定	20
1.11.1 实验目的	20
1.11.2 实验器材	20
1.11.3 实验步骤	20
1.11.4 思考题	21
1.11.5 注意事项	21
1.12 习题	21
第 2 章 直流电阻电路	24
2.1 电阻串联电路	24
2.1.1 电路的基本特点	24
2.1.2 电阻串联的应用实例——电压表扩大量程	26
2.2 电阻并联电路	26
2.2.1 电路的基本特点	26
2.2.2 电阻并联的应用实例——电流表扩大量程	29
2.3 电阻混联电路	29
2.4 电池组	30
2.4.1 电池组的串联	30
2.4.2 电池组的并联	31
2.5 电路中各点电位的计算	31
2.6 基尔霍夫定律	33
2.6.1 支路、节点和回路	33
2.6.2 基尔霍夫电流定律	33
2.6.3 基尔霍夫电压定律	35
2.6.4 支路电流法	35
※2.7 电流源和电压源	37
2.7.1 电压源	37

2.7.2	电流源	37	3.2.2	磁通	59
2.7.3	两种电源模型的等效变换	37	3.2.3	磁导率	59
※2.8	二端网络和戴维南定理	39	3.2.4	磁场强度	60
2.8.1	二端网络	39	3.3	铁磁性物质及其磁化规律	60
2.8.2	戴维南定理	40	3.3.1	铁磁性物质的磁化	60
※2.9	叠加定理	41	3.3.2	磁化曲线	61
2.10	电桥电路	42	3.3.3	磁滞回线	62
2.11	知识拓展	43	3.4	磁场对载流导体的作用	63
2.12	本章小结	44	3.4.1	磁场对通电导体的作用力	63
2.13	实验1——基尔霍夫定律的验证	45	3.4.2	电流表的工作原理	63
2.13.1	实验目的	45	3.5	磁场对运动电荷的作用	65
2.13.2	实验器材	45	3.5.1	洛伦兹力	65
2.13.3	实验步骤	46	3.5.2	带电粒子垂直进入匀强磁场的运动	65
2.13.4	思考题	46	※3.5.3	应用举例——回旋加速器	66
2.14	实验2——用直流惠斯顿电桥测电阻	46	3.6	磁路及其基本定律	67
2.14.1	实验目的	46	3.6.1	磁路	67
2.14.2	实验器材	46	3.6.2	磁路的欧姆定律	67
2.14.3	实验步骤	47	3.7	知识拓展	68
2.14.4	思考题	47	3.7.1	扬声器的工作原理	68
※2.15	实验3——叠加定理的验证	47	3.7.2	铁磁性物质的分类	69
2.15.1	实验目的	47	3.7.3	永久磁铁的充磁	69
2.15.2	实验器材	48	3.7.4	消磁	70
2.15.3	实验步骤	48	3.8	本章小结	70
2.15.4	注意事项	48	3.9	习题	71
※2.16	实验4——戴维南定理的验证	49	第4章 电磁感应	75	
2.16.1	实验目的	49	4.1	电磁感应现象	75
2.16.2	实验器材	49	4.2	楞次定律	76
2.16.3	实验步骤	49	4.3	感应电动势和电磁感应定律	77
2.16.4	思考题	50	4.3.1	感应电动势	77
2.17	习题	50	4.3.2	切割磁感线时的感应电动势	77
第3章 磁场及其与电流的作用	57		4.3.3	电磁感应定律	79
3.1	电流的磁场	57	4.4	自感	80
3.1.1	磁场	57	4.4.1	自感现象	80
3.1.2	磁场的方向和磁感线	57	4.4.2	自感系数	81
3.1.3	电流的磁场	57	4.4.3	线圈电感的计算	81
3.2	磁场的主要物理量	58	4.4.4	自感电动势	82
3.2.1	磁感应强度	58	4.4.5	自感现象的应用	82
			4.4.6	电感的消除	83
			4.5	互感	83
			4.5.1	互感现象	83

4.5.2 互感系数	84	5.8.2 RL 电路的短接	110
4.5.3 互感电动势	85	5.9 知识拓展	111
4.6 互感线圈的同名端与连接	85	5.9.1 常用电容器	111
4.6.1 互感线圈的同名端	85	5.9.2 瞬态过程的应用	112
4.6.2 互感线圈的串联	86	5.10 本章小结	113
4.7 线圈中的磁场能	87	5.11 实验—— RC 电路的瞬态过程	114
4.8 知识拓展	88	5.11.1 实验目的	114
4.8.1 涡流	88	5.11.2 实验器材	115
4.8.2 磁屏蔽	90	5.11.3 实验步骤	115
4.8.3 互感线圈同名端的实用判别法	90	5.11.4 注意事项	116
4.8.4 动圈式传声器	91	5.12 习题	116
4.8.5 电感器	91	第 6 章 正弦交流电及其电路	120
4.9 本章小结	92	6.1 正弦交流电及其基本概念	121
4.10 习题	93	6.1.1 正弦交流电的产生	121
第 5 章 电容及瞬态过程	97	6.1.2 交流电的波形图	122
5.1 电场、电场强度和电力线	97	6.1.3 表征正弦交流电的三要素	123
5.1.1 电场	97	6.2 正弦交流电的表示法	125
5.1.2 电场强度	97	6.2.1 解析式表示法	125
5.1.3 电力线	98	6.2.2 波形图表示法	125
5.2 电容器和电容	99	6.2.3 相量图表示法	126
5.2.1 电容器	99	6.3 纯电阻电路	127
5.2.2 电容	99	6.3.1 电流、电压间的数量关系	127
5.2.3 平行板电容器的电容	99	6.3.2 电流、电压间的相位关系	127
5.3 电容器的连接	100	6.3.3 纯电阻电路的功率	128
5.3.1 电容器的串联	100	6.4 纯电感电路	129
5.3.2 电容器的并联	102	6.4.1 电感对交流电的阻碍作用	129
5.4 电容器的充放电及其质量判别	103	6.4.2 扼流圈	129
5.4.1 电容器的充电	103	6.4.3 电流、电压间的数量关系	130
5.4.2 电容器的放电	103	6.4.4 电流、电压间的相位关系	130
5.4.3 电容器质量的判别	104	6.4.5 纯电感电路的功率	130
5.5 电容器中的电场能量	104	6.5 纯电容电路	131
※5.6 瞬态过程的基本概念	105	6.5.1 电容对交流电的阻碍作用	131
5.6.1 瞬态过程	105	6.5.2 隔直电容器和旁路电容器	131
5.6.2 发生瞬态过程的原因	106	6.5.3 电流、电压间的数量关系	132
5.6.3 换路定律	106	6.5.4 电流、电压间的相位关系	132
※5.7 RC 电路的瞬态过程	107	6.5.5 纯电容电路的功率	133
5.7.1 RC 电路接通直流电压	107	6.6 电阻、电感、电容的串联电路	133
5.7.2 电容通过电阻放电	108	6.6.1 各电压间的关系	133
※5.8 RL 电路的瞬态过程	109	6.6.2 端电压与电流的相位关系	134
5.8.1 RL 电路接通直流电压	109		

6.6.3	端电压和电流的数量关系	135	6.14.2	实验器材	160
6.6.4	$R-L-C$ 串联电路的两个特例	136	6.14.3	实验步骤	160
6.6.5	$R-L-C$ 串联电路的功率	137	6.14.4	思考题	160
6.6.6	功率因数	138	6.15	习题	161
6.6.7	功率因数的提高	139	第7章 三相交流电路		167
6.7	串联谐振电路	140	7.1	三相交流电源	167
6.7.1	串联谐振的定义和条件	140	7.1.1	三相交流电动势的产生	167
6.7.2	串联谐振的特点	141	7.1.2	三相电源的联结方式	168
6.7.3	串联谐振的应用	142	7.2	三相负载的联结方式	169
6.7.4	谐振电路的选择性	142	7.2.1	三相负载的星形接法	169
6.8	电阻、电感、电容的并联		7.2.2	三相负载的三角形接法	171
	电路	143	7.3	三相交流电路的功率	173
6.8.1	各电流间的关系	143	7.3.1	平均功率	173
6.8.2	总电流和电压的相位关系	144	7.3.2	无功功率	174
6.8.3	总电流和电压的大小关系	145	7.3.3	视在功率	175
6.8.4	$R-L-C$ 并联电路的两个特例	145	7.4	知识拓展	175
6.9	电感线圈与电容器的并联谐振		7.4.1	发电、输电和工业企业配电	175
	电路及并联谐振的应用	147	7.4.2	熔断器	176
6.9.1	电感线圈与电容器的并联		7.4.3	漏电保护开关	176
	电路	147	7.4.4	安全用电	177
6.9.2	电感线圈与电容器的并联		7.4.5	三相笼型异步电动机	178
	谐振电路	148	7.5	本章小结	182
6.9.3	并联谐振的应用	149	7.6	实验1——三相负载的星形	
6.10	知识拓展	150		联结	183
6.10.1	常用电光源	150	7.6.1	实验目的	183
6.10.2	电磁铁	151	7.6.2	实验器材	183
6.10.3	交流电路中的实际元器件	152	7.6.3	实验步骤	183
6.10.4	功率因数的提高与节能	153	7.6.4	思考题	184
6.11	本章小结	153	7.7	实验2——三相负载的三角	
6.12	实验1——单相交流电路	156		形联结	184
6.12.1	实验目的	156	7.7.1	实验目的	184
6.12.2	实验器材	156	7.7.2	实验器材	184
6.12.3	实验步骤	157	7.7.3	实验步骤	185
6.12.4	思考题	158	7.7.4	思考题	185
6.13	实验2——串联谐振电路	158	7.8	习题	185
6.13.1	实验目的	158	第8章 信号与系统概述		189
6.13.2	实验器材	158	8.1	信号的基本知识	189
6.13.3	实验步骤	158	8.1.1	信息	189
6.13.4	注意事项	159	8.1.2	信号	189
6.13.5	思考题	159	8.2	信号的传输	191
6.14	实验3——荧光灯电路	159	8.2.1	信道	191
6.14.1	实验目的	159			

8.2.2 调制和解调	191	8.4.2 光纤通信	194
8.2.3 波长	192	8.4.3 因特网	194
8.3 系统与网络	192	8.4.4 信息高速公路	194
8.3.1 通信系统	192	8.5 本章小结	195
8.3.2 通信网	193	8.6 习题	195
8.4 知识拓展	193	参考文献	196
8.4.1 卫星通信	194		

第 1 章 电路的基本知识

【学习目标】

本章讲述的内容是最基本的知识。它涵盖了电路的基本知识和部分基本定律。通过本章的学习要求达到：

- ① 了解电路及其组成。
- ② 理解电位、电动势、电能的基本概念，掌握电流、电压的概念及参考方向、电功率的概念及计算。
- ③ 了解电阻及其参数计算、线性电阻与非线性电阻、温度对电阻的影响，掌握电阻定律与欧姆定律并能熟练应用。
- ④ 了解负载获得最大功率的条件及计算。

1.1 电路和电路模型

1.1.1 电路

1. 电路的组成

电流通过的闭合路径称为电路。电路由电源、负载、导线、控制与保护装置等部分组成。

(1) 电源

把其他形式的能量转化为电能的装置称为电源。常见的电源有干电池、蓄电池、发电机等，它们是向电路提供能量的设备。

(2) 负载

把电能转化为其他形式能量的装置称为负载，也常被称为电源的负载，如电灯、电炉、电铃、电动机、电冰箱、电视机等。

(3) 导线

连接电源和负载等元器件的金属线称为导线。它的作用是把电源产生的电能输送给负载，常用铜、铝等材料制成。

(4) 控制与保护装置

控制与保护装置是用于控制电路的通断、保护电路的安全，使电路能够正常工作的器件，如开关、熔断器、继电器等。

2. 电路的状态

(1) 通路（闭路）

将电路各部分连接成闭合回路，在电路中有电流流过时的状态称为通路。

(2) 开路（断路）

将电路断开，在电路中没有电流流过时的状态称为开路。

(3) 短路

经导线直接连接电源的两端，这时电流不经过负载，只通过导线从电源的一端到电源的另外一端，这种状态称为短路状态，简称为短路。

一般情况下，短路时的大电流会损坏电源和导线，应尽量避免。有时，在调试或修理电子设备的过程中，人为地将电路中的某一部分短路，采取这种手段的目的是为了使与调试无关的部分没有电流通过。

3. 电路的分类











电路就其作用而言，主要分为两大类：第一类用于传输、分配、使用电能，如电力线路，它是将发电机发出的电能通过变压器、输电线路、相关控制设备输送到用户，通过用户的不同用电设备将电能转换为其他形式的能，如光能、热能、机械能等；第二类是传递处理信号，如电视机、收音机中的电路，它们将空中微弱的电磁信号经过放大、变换等处理，最后还原成图像和声音。

1.1.2 电路模型

在工程技术中，实际电路和组成电路的器材、元器件都是比较复杂的，很难用简洁的书面语言（文字、图形等）清楚地表述出来。如电路的几何尺寸，有的大到成千上万千米（电力网、互联网），有的只有几毫米（集成电路芯片）；又如组成电路的元器件，以结构简单的电阻为例，当有电流通过它时，不仅要发热消耗电能，而且会产生磁场，将电能转换成磁场能，还能在电阻自身产生噪声电动势等。可见只一个电阻，通电时就有如此复杂的电磁过程，这就使电路的分析变得异常困难。为解决这一矛盾，在一定条件下，人们采用近似方法将实际电路模拟成简单电路，即首先将电磁性质复杂的实际元器件根据它最突出的特性模拟成单一参数的理想元器件（称为元器件模型），例如电阻器，只考虑它的电阻能阻碍电流并将电能转换成热能这一性质，对其他电磁参数予以忽略，从而得到理想的电阻元器件模型。根据这一道理，对组成电路的其他元器件（如电感、电容、电源等）进行模拟，使其成为元器件模型，并按国家标准制订出规范的图形符号和文字符号，按一定规律将它们连接起来表示实际电路，这种电路被称为实际电路模型。

在设计、安装或修理各种设备和用电器等实际电路时，常要使用表示电路连接情况的图。这种用规定的图形符号表示电路连接情况的图称为电路图，其图形符号要遵守国家标准。电路图中几种常用的标准图形符号如表 1-1 所示。

表 1-1 电路图中几种常用的标准图形符号

名称	符号	名称	符号
电阻		电压表	
电池		接地	
电灯		熔丝	
开关		电容	
电流表		电感	

1.2 电路的基本物理量

1.2.1 电流

1. 电流的形成

电荷的定向移动形成电流。例如，金属导体中自由电子的定向移动，电解液中正、负离子沿着相反方向的移动，阴极射线管中的电子流等，都形成电流。

要形成电流，首先要有能自由移动的电荷——自由电荷，但只有自由电荷还不能形成电流。例如，导体中有大量的自由电荷，它们不断地进行无规则的热运动，朝任何方向运动的几率都一样。在这种情况下，对导体的任何一个截面来说，在任何一段时间内从截面两侧穿过截面的自由电荷数都相等，从宏观上看，没有电荷的定向移动，因而也没有电流。

如果把导体放进电场内，那么导体中的自由电荷除了进行无规则的热运动外，还要在电场力的作用下进行定向移动，形成电流，但很快就达到静电平衡状态，电流将消失，导体内部的场强变为零，整块导体成为等位体。导体中自由电荷在电场中的定向移动的示意图如图 1-1 所示。可见，要得到持续的电流，就必须设法使导体两端保持一定的电压（电位差），导体内部存在电场，才能持续不断地推动自由电荷进行定向移动，这是在导体中形成电流的条件。

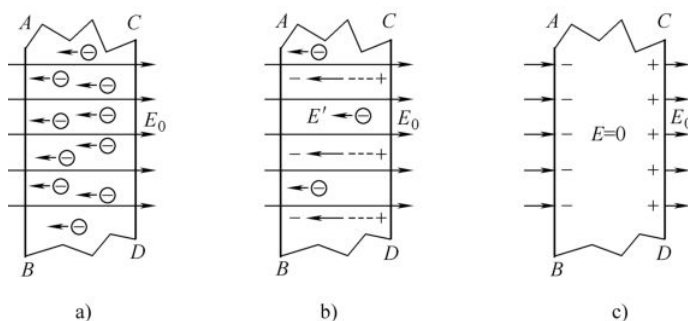


图 1-1 导体中自由电荷在电场中的定向移动的示意图

要得到持续的电流，就必须设法使导体两端保持一定的电压（电位差），导体内部存在电场，才能持续不断地推动自由电荷进行定向移动，这是在导体中形成电流的条件。

2. 电流的概念

电流既是一种物理现象，又是一个表示带电粒子定向运动强弱的物理量。电流的大小等于通过导体横截面的电荷量与通过这些电荷量所用时间的比值。如果在时间 t 内通过导体横截面的电荷量为 q ，那么电流为

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

在国际单位制中，电流的单位是 A（安）。如果在 1s（秒）内通过导体横截面的电荷量是 1C（库），那么规定导体中的电流就为 1A（安）。常用的电流的单位还有 mA（毫安）， μA （微安）等。

$$1\text{mA} = 10^{-3}\text{A}, 1\mu\text{A} = 10^{-6}\text{A}$$

习惯上规定正电荷定向移动的方向为电流的方向。在金属导体中电流的方向与自由电子定向移动的方向相反，在电解液中电流的方向与正离子移动的方向相同，与负离子移动的方向相反。

电流方向和强弱都不随时间而改变的电流叫做直流电。

1.2.2 电压与电动势

电压这个物理量是用来表示电场力移动电荷做功本领的。A、B 两点之间的电压 U_{AB} ，在数值上就等于电场力将单位正电荷从 A 点移到 B 点所做的功，即 $U_{AB} = W_{AB}/q$ 。

电动势是用来表示电源力移动电荷做功本领的物理量。电源的电动势在数值上等于电源力把单位正电荷从负极 B（低电位）经由电源内部移到电源的正极 A（高电位）所做的功。用 E 表示，即 $E = W_{AB}/q$ 。电源符号的两种表示方法分别如图 1-2a 和图 1-2b 所示。在国际单位制中，电压和电动势的单位都是伏 [特]（焦 [耳] / 库 [仑]），简称为“伏”，用大写字母“V”表示。另外，还有 kV（千伏）、mV（毫伏）和 μV （微伏），它们的换算关系是

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

电压的实际方向规定为由高电位（“+”极性）端指向低电位（“-”极性）端，即为电位降低的方向。电源电动势的实际方向规定为在电池内部由低电位（“-”极性）端指向高电位（“+”极性）端，即为电位升高的方向。与电流一样，在较为复杂的电路中，往往无法先确定它们的实际方向（或者极性）。因此，在电路图上所标出的也都是电动势和电压的参考方向。若参考方向与实际方向一致，则其值为正；若参考方向与实际方向相反，则其值为负。

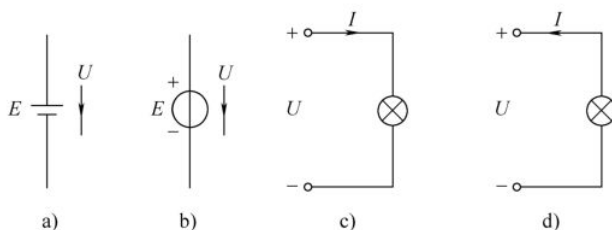


图 1-2 电源的符号与关联方向

- a) 电源符号的一种表示方法 b) 电源符号的另一种表示方法
c) 电流与电压参考方向相同 d) 电流与电压参考方向相反

参考方向原则上是可以任意选择的，但是在分析某一个电路元件的电压与电流的关系时，需要将它们联系起来选择，即将元器件中电流的参考方向定义为由电压参考方向所假定的高电位流向低电位，此为关联方向，如图 1-2c 所示；如果电流的参考方向与电压参考方向相反，就为非关联方向，如图 1-2d 所示。

1.2.3 电位

在分析和计算电路时，特别是在电子技术中，常常将电路中的某一点选为参考点，并规定其电位为零，于是电路中其他任何一点与参考点之间的电压便是该点的电位。在同一电路中，由于参考点选择不同，各点的电位值会随着改变，但是任意两点之间的电压值是不变的，所以各点的电位高低是相对的，而两点间的电压值是绝对的。

原则上，可以任意选择参考点，但为了统一，工程上常选大地为参考点。机壳需要接地的设备，可以把机壳选为电位的参考点。有些电子设备的机壳虽不一定接地，但为分析方便起见，可以把它们当中元器件汇集的公共端或公共线选为参考点，也称为地，在电路图中用符号“ \perp ”表示。

电位在数值上等于电场力将单位正电荷沿任意路径从该点移到参考点所做的功。电位用 U 表示。将 A 点的电位记为 U_A ，B 点的电位记为 U_B 等。

可以得出以下结论：

- 1) 电路中某一点的电位等于该点与参考点（电位为零）之间的电压。
- 2) 如果参考点选得不同，电路中各点的电位值就随着改变，但是任意两点间的电压值是不变的。所以各点电位的高低是相对的，而两点间的电压值是绝对的。
- 3) 在同一个电路中，只能选取一个参考点。

【例 1-1】 求图 1-3 所示电路中开关 S 闭合和断开两种情况下 A、B、C 3 点的电位。

解：当开关 S 闭合时， $U_A = 6V$ ， $U_B = -3V$ ， $U_C = 0V$ 。当开关 S 断开时，A 点的电位不变， $U_A = 6V$ 。因为电路中无电流流过电阻 R， $U_B = U_A = 6V$ 。C 点的电位比 B 点电位高 3V， $U_C = (6 + 3)V = 9V$ 。

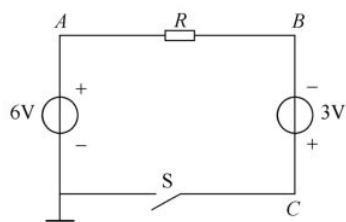


图 1-3 例 1-1 图

1.2.4 电动势

电路中要有电流通过，就必须在它的两端保持电压。干电池、蓄电池、发电机等电源，能够在电路中产生和保持电压。下面介绍电源是怎样产生这种作用的。

图 1-4 是一个简化了的带有电源的电路示意图。点画线框内是电源，A 是电源的正极，B 是电源的负极，R 是用电器。电源外部的电路叫做外电路，电源内部的电路叫做内电路。

电源的工作就是把正电荷从 B 极移送到 A 极，或者把负电荷从 A 极移送到 B 极。为了使问题简化，只介绍把正电荷从 B 极移送到 A 极的情形。把正电荷从 B 极取走，B 极上就出现了等量的负电荷。要把正电荷送到 A 极，就一定要有一种力来反抗正负电荷间的静电引力，这种力一定不是静电力，称为非静电力。不同电源的非静电力的来源可以不同，干电池和蓄电池的非静电力来自化学作用，发电机的非静电力来自电磁作用。

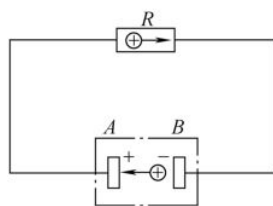


图 1-4 带有电源的电路示意图

非静电力把正电荷移送到 A 极，A 极就有了多余的正电荷，B 极就有了等量的负电荷。于是在电源内部形成了电场。这个电场是阻碍正电荷从 B 极移到 A 极的。两极上的异种电荷越多，阻碍正电荷从 B 极移到 A 极的静电力就越大。如果外电路是断开的，当两极上的异种电荷达到一定值时，静电力和非静电力对电荷的作用达到平衡，正电荷从 B 极移到 A 极的过程停止，这时电源两极间就建立了一定的电压；如果使外电路闭合，在外电路中也形成了电场，正电荷就要通过外电路从 A 极移到 B 极，在那里与负电荷中和，于是两极的电荷减少，电源内部的电场减弱，静电力和非静电力的平衡受到破坏，在电源内部就又会把正电荷从 B 极移到 A 极的过程。这个过程使电源两极保持一定的电压，使电路中持续有电流通过。

非静电力在电源内部把正电荷从负极移到正极是要做功的。这个做功的过程，实际上就是把其他形式的能转化为电能的过程。因此，从能量转化观点来看，电源就是把其他形式的能转化为电能的装置。例如，电池是把化学能转化为电能的装置，发电机是把机械能转化为电能的装置。

对于同一个电源来说，非静电力把一定量的正电荷从负极移送到正极所做的功是一定

的。但对不同的电源来说，把同样多的正电荷从负极移到正极所做的功，一般是不同的。在移送电荷量相等的情况下，非静电力做的功越多，电源把其他形式的能转化为电能的本领也越大。电源的这种本领，可用电动势来表示。

非静电力把正电荷从负极经电源内部移到正极所做的功与被移送的电荷量的比值叫做电源的电动势，用字母 E 表示。如果被移送的电荷量为 q ，非静电力做的功为 W ，那么电动势

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

式中， W 、 q 的单位分别是 J（焦）、C（库）。电动势 E 的单位与电位、电压的单位相同，都是 V。每个电源的电动势是由电源本身决定的，与外电路的情况无关。例如，干电池的电动势是 1.5V，铅蓄电池的电动势是 2V。电动势是一个标量，但它与电流一样有规定的方向，即自负极通过电源内部到正极的方向为电动势的方向。

1.3 电阻和电阻定律

1.3.1 物质的分类

根据物质导电能力的强弱，一般可将物质分为导体、绝缘体和半导体。

导体的原子核对外层电子吸引力很小，电子较容易挣脱原子核的束缚，形成大量自由电子。一切导体（如银、铜、铝等）都能导电。

绝缘体的原子核对外层电子有较大的吸引力，电子很难挣脱原子核的束缚而形成自由电子。绝缘体（如玻璃、胶木、陶瓷、云母等）不能导电。

半导体（如硅、锗等）的导电性能介于导体和绝缘体之间。

1.3.2 电阻

金属导体中的电流是自由电子定向运动形成的。自由电子在运动中要与金属正离子频繁碰撞，每秒的碰撞次数高达 10^{15} 。这种碰撞阻碍了自由电子的定向移动。表示这种阻碍作用的物理量叫做电阻，用字母 R 表示。不但金属导体有电阻，而且其他物体也有电阻。

1.3.3 电阻定律

导体的电阻是由它本身的物理条件决定的。金属导体的电阻是由它的长短、粗细、材料的性质和温度决定的。

在保持温度（如 20°C ）不变的条件下，实验结果表明，用同种材料制成的横截面积相等而长度不相等的导线，其电阻与它的长度 L 成正比；长度相等而横截面积不相等的导线，其电阻与它的横截面积 S 成反比，即

$$R = \rho \frac{L}{S} \quad (1-3)$$

上式称为电阻定律。式中，比例系数 ρ 叫做导体的电阻率，单位是 $\Omega \cdot \text{m}$ （欧·米）。 ρ 与导体的几何形状无关，而与导体材料的性质和导体所处的条件（如温度等）有关。 R 、 L 、 S